

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

nauchnyj Internet-zhurnal

2019 • Том 11 • № 5

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

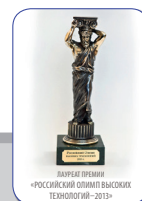
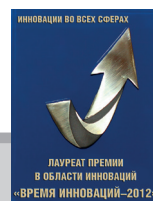
A Scientific Internet-Journal

2019 • Vol. 11 • № 5

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

научный Интернет-журнал

2019 • Том 11 • № 5



IN THE ISSUE:

В НОМЕРЕ:

- The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition
- Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава
- The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica
- Влияние низких температур выдерживания на свойства цементных растворов, содержащих нанокремнезем
- Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites
- Модифицирующее усиление твердения прессованных строительных гипсовых нанокомпозитов
- On the properties of nano-modified cement stones
- О свойствах наномодифицированных цементных камней

www.nanobuild.ru

e-mail: info@nanobuild.ru

ISSUED WITH SUPPORT OF
ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (CHINA)
УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИЙ
(КИТАЙ)

NANOTEHNOLOGII V STROITEL'STVE:

nauchnyj Internet-zhurnal

NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION:

A Scientific Internet-Journal

CONTENTS

IN THE ISSUE499

PUBLISHER INFORMATION

Aims and scope; The first year of output; Frequency; Topics of the articles, and target audience;
International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher;
Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access the edition; Archiving;
Journal production schedule504

RESEARCH RESULTS OF THE LEADING SCIENTISTS

UDC 665.775

Evdokimova N. G., Egorova N. A., Sultanova D. P., Kunakulova E. M., Serezhkina N. G.

**The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical
group composition**512

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION

Wuhan University of Technology is one of the leading Chinese universities526

APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS

UDC 69.001.5

Katarzyna S., Rucińska T.

**The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars
containing nanosilica**536

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544

The electronic edition «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A Scientific Internet-Journal»545

THE ELABORATION OF THE THEORY OF THE FORMATION STRENGTH AND IMPERMEABILITY OF NANOSTRUCTURED SYSTEMS

UDC 666.914: 691.5

Khalikov R.M., Sinitsina E.A., Silantyeva E.I., Pudovkin A.N., Nedoseko I.V.

Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites

549

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560

INTERNATIONAL PRIZE

About the international Tang Prize561

STUDY OF PROPERTIES OF NANOMATERIALS

UDC 691

Vakhitova R.I., Saracheva D.A., Mazankina D.V., Kiyamov I.K., Sabitov L.S.

On the properties of nano-modified cement stones

565

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576

CEMENT AND OTHER BINDERS WITH MINERAL AND ORGANIC ADDITIVES

UDC 622.245

Agzamov F.A., Ismagilova E.R.

Self-healing cements – the key to maintaining the integrity of cement sheath.

Part 1

577

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-577-586

ON THE OBSERVANCE OF PUBLISHING ETHICS BY THE EDITORS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND THE STATEMENT OF PREVARICATION ABSENCE. ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL

General statements, paper format guidelines, the topics of published materials, paper structure, reference format.

The authors of the published materials allow the use of the content according to the license Creative

Commons CC-BY «Attribution». Declaration Open Access of the journal.....587

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:

научный Интернет-журнал

СОДЕРЖАНИЕ

В НОМЕРЕ 499

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория;
международный редакционный совет; международная редакционная коллегия;
редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные;
минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию;
архивирование; график издания 504

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ

УДК 665.775

Евдокимова Н.Г., Егорова Н.А., Султанова Д.П., Кунаккулова Э.М., Сережкина Н.Г.

**Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом
подбора группового химического состава** 512

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Уханьский университет технологий – один из ведущих китайских университетов 526

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

УДК 69.001.5

Скочилас К., Ручинска Т.

**Влияние низких температур выдерживания на свойства цементных растворов,
содержащих нанокремнезем** 536

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: научный Интернет-журнал 545

РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И НЕПРОНИЦАЕМОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

УДК 666.914: 691.5

Халиков Р.М., Синицина Е.А., Силантьева Е.И., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В.

**Модифицирующее усиление твердения прессованных строительных
гипсовых нанокомпозитов**

549

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРЕМИИ

О международной премии Тан561

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОМАТЕРИАЛОВ

УДК 691

Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Мазанкина Д.В., Киямов И.К., Сабитов Л.С.

О свойствах наномодифицированных цементных камней.....

565

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576

ЦЕМЕНТНЫЕ И ДРУГИЕ ВЯЖУЩИЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

УДК 622.245

Агзамов Ф.А., Исмагилова Э.Р.

Самозалечивающиеся цементы – ключ к сохранению герметичности крепи скважин.

Часть 1

577

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-577-586

О СОБЛЮДЕНИИ РЕДАКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ «НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ» ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ЭТИКИ И ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОТСУТСТВИИ ЗЛУПОТРЕБЛЕНИЯ СЛУЖЕБНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION». ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА.

Общие положения, правила оформления материалов, тематика публикуемых материалов, структура статьи, оформление библиографических ссылок. Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY

«Attribution» («Атрибуция»). Декларация Open Access журнала.....587

ISSUED WITH SUPPORT OF / ИЗДАЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ
АКАДЕМИИ



INTERNATIONAL ACADEMY
OF ENGINEERING
МЕЖДУНАРОДНОЙ
ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ



WUHAN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY (CHINA)
УХАНЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ (КИТАЙ)

PUBLISHER INFORMATION

(Aims and scope; The first year of issue; Frequency; Topics of the papers, and target audience; International editorial council; International editorial board; The editors; Founder and publisher; Publication ethics; Contacts; Minimal system requirements to access to the edition; Archiving; Journal production schedule)

The main aim of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru is to provide information support for the process of invention and application in the world of science intensive technologies (mostly nanotechnological products) in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).

The Main Tasks of the Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»:

1. Providing scientists and specialists from different countries with the opportunity to publish the results of their research and receive information about modern technologies and materials, high-performance equipment in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).
2. Popularization of achievements of leading scientists, engineers, experts and researchers from different countries.
3. To provide information support and participate in the events (forums, conferences, symposia, workshops, exhibitions, round tables etc) devoted to nanoindustry and problems of application of nanoindustry in construction and housing and communal services, which are perspective and of great importance.

The electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru has been published since 2009 and its periodicity is 6 issues a year.

ИЗДАТЕЛЬСКИЕ СВЕДЕНИЯ

(цели и задачи; первый год выхода; периодичность; тематика статей и целевая аудитория; международный редакционный совет; международная редакционная коллегия; редакция; учредитель и издатель; издательская этика; контактные данные; минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию; архивирование; график издания)

Основной целью электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru является информационное обеспечение процесса создания и внедрения в мире наукоёмких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

Основные задачи электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»:

1. Предоставление ученым и специалистам из разных стран возможности публиковать результаты своих исследований и получать информацию о современных технологиях и материалах, высокоэффективном оборудовании в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).
2. Популяризация достижений ведущих ученых, инженеров, экспертов и исследователей из различных стран.
3. Информационная поддержка и участие в мероприятиях (форумах, конференциях, симпозиумах, семинарах, выставках, круглых столах и т.д.) по nanoиндустрии и прикладным вопросам нанотехнологий в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства, имеющих актуальное и перспективное практическое значение.

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» Nanobuild.ru издаётся с 2009 года, периодичность – 6 номеров в год.

The subject of the journal's articles is given in Appendix 2 (chapter «on the observance of publishing ethics by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in construction: A scientific internet-journal» and the statement of prevarication absence»).

Every issue of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» contains the information about advanced materials and technologies which are already in use or are about to appear at the market in the near future. That is of great interest for many specialists.

Therefore the edition's readers and authors are:

- students, lecturers, post-graduates and people working for doctor's degree;
- scientists and specialists of research institutes and nanotechnological centers;
- heads and specialists of the institutions, organizations and factories from the sphere of construction and housing and communal services;
- scientists and specialists of the industries which are adjacent to construction;
- experts of the enterprise-producers manufacturing nanoindustrial output.

**INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL
(PUBLIC ADVISORY BODY)**

Chairman of the international editorial council

Boris V. GUSEV – Editor-In-Chief of Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal», Corresponding Member of RAS, President of Russian Academy of Engineering and International Engineering Academy, Head of Department «Construction Materials and Technologies» Russian University of transport, Honored Scientist of RF, Laureate of USSR and RF State prizes, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Members of the international editorial council

Evgeny M. CHERNYSHOV – Full member of RAACS, Chairman Presidium of Central Regional Department of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Director of Educational Creative Academic Center «Archstroynauka» SUACE Department of Academic Scientific and Educational Cooperation, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Oleg L. FIGOVSKY – Full Member of European Academy of Science, Foreign Member of RAE and RAACS, Editor-in-Chief of SITA, OCJ и RPCS, Director of «Nanotech Industries, Inc.» (USA), and Director of International Nanotechnological R&D

Тематика статей журнала приведена в Приложении 2 (раздел «о соблюдении редакцией электронного издания нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» издательской этики и заявление об отсутствии злоупотребления служебным положением»).

В каждом номере электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» публикуется информация о передовых материалах и технологиях, которые уже используются или должны появиться в ближайшее время, а это вызывает большой интерес у специалистов.

Поэтому авторами и читателями издания являются:

- студенты, преподаватели, аспиранты и докторанты вузов;
- ученые и специалисты научно-исследовательских институтов и нанотехнологических центров;
- руководители и специалисты учреждений, организаций и предприятий строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства;
- ученые и специалисты смежных со строительством отраслей;
- эксперты фирм-производителей продукции наноиндустрии.

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
(ОБЩЕСТВЕННЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ ОРГАН)**

Председатель международного редакционного совета

ГУСЕВ Борис Владимирович – главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», член-корреспондент РАН, президент РИА и МИА, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственных премий СССР и РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Члены международного редакционного совета

ЧЕРНЫШОВ Евгений Михайлович – академик РААСН, председатель Президиума Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук, директор образовательного творческого академического центра «Архстройнаука» Воронежского ГАСУ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ФИГОВСКИЙ Олег Львович – действительный член Европейской академии наук, иностранный член РИА и РААСН, главный редактор журналов SITA, OCJ и RPCS, директор компании «Nanotech Industries, Inc.», Кали-

Center «Polymate» (Israel), President of IAI, Chairman of the UNESCO Chair «Green Chemistry», USA, Israel

Zheng Y. FU – Chief Professor of the Wuhan University of Technology (China); Cheung Kong Scholar of the Ministry of Education of China; Academician of the World Academy of Ceramics; State Key Lab of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan University of Technology, China

Leonid A. IVANOV – Head of the Project «Nanobuild.ru», Chief Academic Secretary and Vice-President of the Russian Academy of Engineering and the International Academy of Engineering, Academician of RAE and IAE, PhD in Engineering, as a Guest Professor of Wuhan University of Technology (China), Member of the International Federation of Journalists, Russian Federation

Sergei V. KALIUZHNIY – Scientific Advisor of Chairman of Board «RUSNANO», Chief Scientist, Member of Board «RUSNANO», Doctor of Chemistry, Professor, Russian Federation

Evgeniy V. KOROLEV – Prorector for Education, Director of the Research and Educational Center «Nanotechnology», National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», Adviser of RAACS, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Surendra P. SHAH – Walter P. Murphy Emeritus Professor of Civil and Environmental Engineering of Northwestern University, Ill., USA, Honorary Professor at the University of L'Aquila, Italy, and Hong Kong Polytechnic University; Member of American National Academy of Engineering, Chinese Academy of Engineering, and Indian Academy of Engineering, USA

Vladimir Y. SHEVCHENKO – Director of Institute of Silicate Chemistry of Russian Academy of Sciences, Head of Scientific Council RAS on Ceramic and Other Non-metal Materials, Vice-Chair of Coordinating Council on Development of Nanotechnologies attached to the Committee of the Council of the Federation of the Federal Assembly of the RF on Science, Culture, Education, Medicine and Ecology, Member of RAS, Doctor of Chemistry, Professor, Russian Federation

Valeriy I. TELICHENKO – President of National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», 1st vice-president of RAACS, Academician of RAACS

форния (США), директор Международного нанотехнологического исследовательского центра «Polymate» (Израиль), зав. кафедрой ЮНЕСКО «Зелёная химия», президент Израильской Ассоциации Изобретателей, США, Израиль

ЭФУ Дженьги – ведущий профессор Уханьского технологического университета (Китай); лауреат премии Чонг Конг Министерства образования КНР; академик Международной академии керамики; Государственная главная лаборатория передовых технологий для синтеза и обработки материалов, Уханьский технологический университет (Китай)

ИВАНОВ Леонид Алексеевич – руководитель проекта «Nanobuild.ru», главный учёный секретарь и вице-президент Российской и Международной инженерных академий, академик РИА и МИА, кандидат технических наук, приглашенный профессор Уханьского технологического университета (Китай), член Союза журналистов Москвы, России и Международной федерации журналистов, Российская Федерация

КАЛЮЖНЫЙ Сергей Владимирович – советник Председателя Правления ОАО «РОСНАНО» по науке – главный ученый, член Правления ОАО «РОСНАНО», д-р хим. наук, профессор, Российская Федерация

КОРОЛЁВ Евгений Валерьевич – проректор МГСУ по учебной работе, директор НОЦ «Нанотехнологии» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Сурендра П. ШАХ – почетный профессор Северо-Западного Университета, Иллинойс, США; Университета Л'Аквила, Италия; Гонконгского политехнического университета; Действительный член Национальной инженерной академии США, Почетный член Инженерных Академий Китая и Индии (США)

ШЕВЧЕНКО Владимир Ярославович – директор Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, руководитель Научного совета РАН по керамическим и другим неметаллическим материалам РАН, заместитель председателя Координационного совета по развитию нанотехнологий при Комитете Совета Федерации ФС РФ по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии, академик РАН, д-р хим. наук, профессор, Российская Федерация

ТЕЛИЧЕНКО Валерий Иванович – президент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, 1-й вице-пре-

Honored Scientist of RF, Doctor of Engineering, Professor,
Russian Federation

Li D. XU – Foreign Member of Russian Academy of Engineering, Member of European Academy of Sciences, Ph.D., Fellow of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Founding Editor-in-Chief of the Journal of Industrial Information Integration, Eminent Professor of Information Technologies & Decision Sciences Department, Old Dominion University, USA

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Chairman of the international editorial board

Boris V. GUSEV – Editor-In-Chief of Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal», Corresponding Member of RAS, President of Russian Academy of Engineering and International Engineering Academy, Head of Department «Construction Materials and Technologies» Russian University of transport, Honored Scientist of RF, Laureate of USSR and RF State prizes, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Members of the international editorial board

Peter J.M. BARTOS – The Queen's University of Belfast, UK, Chair of RILEM Technical Committee TC 197-NCM on Nanotechnology in Construction Materials (2002–2009), former Head of Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials (University of West Scotland), UK

Yury M. BAZHENOV – Head of Department «Binders and Concrete Technologies», Scientific Adviser of the Research and Educational Center «Nanotechnology» in National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», Member of RAE, Academician of RAACS, Honored Scientist of RF, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Vyacheslav R. FALIKMAN – 1st vice-president of Structural Concrete Association, Academician of RAE, Regional Convener of International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM) in East Europe and Central Asia, Member of Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Professor of MSUCE, Doctor of Material Science and Engineering, Russian Federation

зидент РААСН, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Шу Ли Да – иностранный член Российской инженерной академии, член Европейской академии наук, доктор философии, член Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), учредитель и главный редактор Журнала индустриальной информационной интеграции, профессор Отдела информационных технологий и науки принятия решений, Университет Олд Доминион (США)

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель международной редакционной коллегии

ГУСЕВ Борис Владимирович – главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», член-корреспондент РАН, президент РИА и МИА, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственных премий СССР и РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

Члены международной редакционной коллегии

Питер Дж. М. БАРТОШ – профессор Королевского Университета Белфаста (Великобритания), председатель Технического комитета по нанотехнологиям в строительных материалах РИЛЕМ (2002–2009 гг.), бывший руководитель Шотландского центра по нанотехнологиям в строительных материалах (Университет Западной Шотландии), Великобритания

БАЖЕНОВ Юрий Михайлович – заведующий кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов», научный руководитель НОЦ «Нанотехнологии» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, академик РИА, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ФАЛИКМАН Вячеслав Рувимович – 1-й вице-президент ассоциации «Железобетон», академик РИА и МИА, уполномоченный Международного союза экспертов и лабораторий по испытанию строительных материалов, систем и конструкций (РИЛЕМ) в странах Восточной Европы и Средней Азии, член технического комитета Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», профессор Национального

Vadim G. KHOZIN – Head of Department «Technology of Construction Materials, Products and Structures», Kazan State University of Architecture and Engineering, Honoured Scientist of Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Honoured Figure of Higher Education of RF, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

Leonid M. LYNKOV – Head of the Department «Information Security», Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Doctor of Engineering, Professor (Minsk, Belarus), Belarus

Polad MALKIN – Ph.D., Senior Researcher, Ben-Gurion University in the Negev, Foreign Member of Russian Academy of Engineering, Chief Executive Officer, «StartUpLab», Israel

Viktor S. MECHTCHERINE – Director of the Institute of Construction Materials, Chair of Construction Materials, Technische Universität Dresden, Professor, Doctor of Engineering, Germany

Pawel SIKORA – Ph.D., Assistant Professor, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland; Postdoctoral Researcher, Technical University of Berlin, Germany

Konstantin G. SOBOLEV – Head of Technical Committee of American Concrete Institute ACI 241 «Nanotechnologies of Concrete», Professor of University of Wisconsin-Milwaukee, USA

Larisa A. URKHANOVA – Head of Department «Production of Building Materials and Wares» East-Siberian State University of Technologies and Management, Doctor of Engineering, Professor, Russian Federation

THE EDITORS

Editor-in-Chief – **D. Eng., Prof. Boris V. GUSEV**
Executive Editor – **Yulia A. EVSTIGNEEVA**
Head of Design Department – **Andrey S. REZNICHENKO**
The Chief for Foreign Relations Ph.D. (Engineering) –
Svetlana R. MUMINOVA

исследовательского Московского государственного строительного университета, доктор материаловедения, Российская Федерация

ХОЗИН Вадим Григорьевич – заведующий кафедрой «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций» Казанского государственного архитектурно-строительного университета, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан, почетный работник высшего профессионального образования РФ, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович – заведующий кафедрой «Защита информации» УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», д-р техн. наук, профессор (г. Минск, Беларусь), Беларусь

МАЛКИН Полад – старший научный сотрудник, Университет Бен-Гуриона в Негеве, д-р ф.-м. наук, иностранный член Российской инженерной академии, Генеральный директор, «StartUpLab», Израиль

МЕЩЕРИН Виктор Сергеевич – директор института строительных материалов Технического университета Дрездена, д-р техн. наук, профессор (Дрезден), Германия

СИКОРА Павел – кандидат наук, Западнопоморский технологический университет в Щецине (Польша), научный сотрудник Берлинского технического университета, Германия

СОБОЛЕВ Константин Геннадиевич – руководитель технического комитета Американского института бетона ACI 241 «Нанотехнологии в бетоне», профессор Университета Висконсин-Милуоки, США

УРХАНОВА Лариса Алексеевна – заведующая кафедрой «Производство строительных материалов и изделий» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, д-р техн. наук, профессор, Российская Федерация

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор – **д-р техн. наук, профессор ГУСЕВ Борис Владимирович**
Шеф-редактор – **ЕВСТИГНЕЕВА Юлия Анатольевна**
Начальник отдела дизайна и верстки –
РЕЗНИЧЕНКО Андрей Сергеевич
Руководитель группы по внешним связям
канд. техн. наук – **МУМИНОВА Светлана Рашидовна**

FOUNDER AND PUBLISHER

ООО «CNT «NanoStroitelstvo»

- Member of the Publishers International Linking Association, Inc. (PILA);
- Member of the Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP).

The Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» is registered as an independent mass media in the Ministry of Communication and Mass Media of The Russian Federation. (Registration Certificate Эл № ФС77 – 35813 of 31 March 2009 issued by the Federal Service on Supervision in the Sphere of Connection and Mass Communications).

The Electronic Edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included in the list of peer-review journals in which the candidates for Ph.D. and Doctorate degree must publish the main results of their theses.

The electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included: CA(pt) (USA); DOAJ (Sweden); EBSCO Publishing (USA); ESCI Web of Science (USA); EZB (Germany); OAJI (USA); ProQuest (USA); CrossRef (USA); ISSN 2075-8545 (France); Readera (Russia); ResearchBib (Japan); ResearchGate (USA); Scientific Electronic Library (Russia); Ulrich's Periodicals Directory (USA) et al. Each paper is assigned UDC, DOI, HTML-code.

PUBLICATION ETHICS

Editorial Council, Editorial Board and the editorial staff second the politics aimed at observance of ethical publishing principles and recognize that keeping track of observance of ethical publishing principles is one of the main components in reviewing and publishing activities. The main ethical principles of article publication and review are published in the journal (chapter «On the observance of publishing ethics by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in construction: A scientific internet-journal» and the statement of prevarication absence») and at website <http://www.nanobuild.ru>.

The authors of the published materials are responsible for the reliability of the presented information and utilization of the data which are not to be published avowedly. The editors have the right to make corrections. The opinion of the editors can be different from the authors' opinions, the materials are published to discuss the up-to-date prob-

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО «ЦНТ «НаноСтроительство»:

- член Международной ассоциации по связям издателей (МАСИ);
- член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» зарегистрировано как самостоятельное средство массовой информации в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77 – 35813 от 31 марта 2009 г.).

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» включено в системы цитирования (базы данных): CA(pt) (США); DOAJ (Швеция); EBSCO Publishing (США); ESCI Web of Science (США); EZB (Германия); OAJI (США); ProQuest (США); CrossRef (США); ISSN 2075-8545 (Франция); Научная электронная библиотека (Россия); Readera (Россия); ResearchBib (Япония); ResearchGate (США); Ulrich's Periodicals Directory (США) и другие. Каждой научной статье присваиваются УДК, DOI, а также HTML-код.

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ЭТИКА

Редакционный совет, редакционная коллегия, коллектив редакции поддерживают политику, направленную на соблюдение принципов издательской этики, и признают, что отслеживание соблюдения принципов издательской (редакционной) этики является одной из главных составляющих рецензирования и издания. Основные этические принципы публикации статей и рецензирования опубликованы в журнале (раздел «О соблюдении редакцией электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал» издательской этики и заявление об отсутствии злоупотребления служебным положением») и на сайте издания <http://www.nanobuild.ru>.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений и использование данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция оставляет за собой право вне-

lems. The editors are not responsible for the content of advertisement.

Any full or partial reprinting of the materials is possible only with editors' written permission.

CONTACTS

Address: Russian Federation, 125009, Moscow,
Gazetny per., bld. 9, str. 4
Internet: <http://www.nanobuild.ru>
E-mail: info@nanobuild.ru

ARCHIVING

Articles from the journal (article metadata) are available in open access:

- on the website of the electronic publication «Nanotechnology in construction: scientific online magazine», link – http://nanobuild.ru/en_EN/archieve-of-issues/;
- in the full-text database of open-access scientific journals Open Academic Journals Index (OAJI), link – <http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931>;
- on the website of the scientific electronic library, link – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760>;
- in the database of scientific journals Directory of Open Access Journals (DOAJ), link – <https://doaj.org/>, next – the journal is searched «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- in the database of scientific journals ResearchBib, link – <http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545>;
- on the Internet resource of scientists of all scientific disciplines ResearchGate, link – https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- in the international scientific base Readera – <https://readera.ru/nanobuild>;
- in other citation systems (databases).

That allows scientists and specialists all over the world to study journal's materials and to use them in their work as well as to cite them.

сения редакторской правки. Мнение редакции может не совпадать с мнениями авторов, материалы публикуются с целью обсуждения актуальных вопросов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений (R).

Любая перепечатка материалов полностью или частично возможна только с письменного разрешения редакции.

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ

Адрес: Российская Федерация, 125009, Москва,
Газетный пер., д. 9, стр. 4
Internet: <http://www.nanobuild.ru>
E-mail: info@nanobuild.ru

АРХИВИРОВАНИЕ

Статьи из журнала (метаданные статей) размещаются в «открытом доступе»:

- на сайте электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал», ссылка – http://nanobuild.ru/ru_RU/, далее – раздел «Архив номеров»;
- в полнотекстовой базе данных научных журналов открытого доступа Open Academic Journals Index (OAJI), ссылка – <http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931>;
- на сайте Научной электронной библиотеки, ссылка – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760>;
- в базе научных журналов Directory of Open Access Journals (DOAJ), ссылка – <https://doaj.org/>, далее – осуществляется поиск журнала «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- в базе данных научных журналов ResearchBib, ссылка – <http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545>;
- на интернет-ресурсе учёных всех научных дисциплин ResearchGate, ссылка – https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- в научной международной базе Readera – <https://readera.ru/nanobuild>;
- в других системах цитирования (базах данных).

Это позволяет ученым и специалистам во всем мире свободно знакомиться с материалами журнала и использовать их в своей деятельности, в т.ч. цитировать в своих статьях.

MINIMAL SYSTEM REQUIREMENTS TO ACCESS THE EDITION / МИНИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ДОСТУПА К ИЗДАНИЮ

Windows

- Intel Pentium® III or equivalent processor.
- Microsoft® Windows® 2000 with Service Pack 4; Windows Server® 2003 (32-bit or 64-bit editions) with Service Pack 1; Windows XP® Professional, Home, Tablet PC(32-bit or 64-bit editions) with Service Pack 2 or 3(32-bit or 64-bit editions); or Windows Vista® Home Basic, Home Premium, Ultimate, Business, or Enterprise with Service Pack 1 or 2 (32-bit or 64-bit editions).
- 128MB of RAM (256MB recommended for complex forms or large documents).
- 170MB of available hard-disk space.
- Microsoft Internet Explorer 6.0 or 7.0, Firefox 1.5 or 2.0, Mozilla 1.7, AOL 9, Google Chrome 5.0, Opera 10.6.

Macintosh

- PowerPC G3, G4, G5 or Intel processor.
- Mac OS X v10.4.11–10.5.5.
- 128MB of RAM (256MB recommended for complex forms or large documents).
- 170MB of available hard-disk space (additional space required for installation).
- Safari® (Shipping with supported OS).

JOURNAL PRODUCTION SCHEDULE IN 2019 / ГРАФИК ИЗДАНИЯ В 2019 ГОДУ

№№ №№ п/п	Papers submission deadline Окончание приема материалов от авторов	Editing, proof-reading, layout, agreement Редактирование, корректурa, верстка, согласование	The approval of the issue by the Editor-in-Chief Подписание номера главным редактором	Website publication Опубликование на сайте	Note Примеч.
2019, Vol. 11, № 1 2019, Том 11, № 1	25.01.19	05.02.19	08.02.19	05.03.19	
2019, Vol. 11, № 2 2019, Том 11, № 2	12.04.19	22.04.19	26.04.19	15.05.19	
2019, Vol. 11, № 3 2019, Том 11, № 3	27.05.19	31.05.19	05.06.19	25.06.19	
2019, Vol. 11, № 4 2019, Том 11, № 4	05.08.19	14.08.19	19.08.19	28.08.19	
2019, Vol. 11, № 5 2019, Том 11, № 5	05.10.19	24.10.19	27.10.19	11.11.19	
2019, Vol. 11, № 6 2019, Том 11, № 6	01.11.19	15.11.19	22.11.19	27.12.19	

Issue 2019, Volume 11, № 5 approved on 27.10.2019

Номер 2019, Том 11, № 5 подписан 27.10.2019 г.

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525

UDC 665.775

The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition

Authors:

Natalya G. Evdokimova,

Doctor of Engineering, Associate Professor of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University Branch of the University in the City of Salavat, Salavat, Bashkortostan, Russian, ruskih1.r@yandex.ru;

Nadezhda A. Egorova,

Senior Lecturer of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat, Salavat, Bashkortostan, Russian, kushner-nadia@mail.ru;

Diana P. Sultanova,

Undergraduate of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat, Salavat, Bashkortostan, Russian, d.ishkina@mail.ru;

Elvira M. Kunakkulova,

Undergraduate of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat, Salavat, Bashkortostan, Russian, btp1421elvira@gmail.com;

Natalia G. Serezhkina,

Senior Lecturer of Department «General Scientific Disciplines», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat, Salavat, Bashkortostan, Russian, sng-tasha@yandex.ru

Abstract: The studies of paving bitumen chemical composition and physicochemical properties produced by compounding deeply oxidized bitumen, tar and vacuum gas-oil of different hydrocarbon composition are carried out.

The bitumen is marked to have the optimal complex of properties if the best chemical group composition of three main elements bitumen binding agents – oils, resins and asphaltenes - is formed. That provides the best structure of bitumen oil-disperse system.

The object of the research is the selection of compounded paving bitumen chemical group composition that provides the formation of bitumen nanodisperse system as «sol-gel» which quality metrics match the requirements of the new State Standard 33133-2014 «Petroleum paving viscous bitumen».

The analysis of the research results makes it possible to determine the optimal chemical group composition of compounded bitumen that meets standard requirements by physicochemical properties. It has been determined that the higher the bitumen dispersion is, the more plastic properties it has. In addition, the bitumen ability to thermal-oxidative processes of deterioration decreases. The value range of bitumen dispersion and the most optimal values of asphaltenes ratio to the amount of oils and resins for bitumen grade BND 100/130 and for bitumen grade BND 70/100 were found. This amount of oils and resins for referred bitumen grades provide production of nanostructured bitumen as «sol-gel».

It is shown that when processing tar of different chemical composition the optimal chemical group composition of finished product can be formed by compounding. That rises probability that the end product will fit to the new State Standard 33133-2014. The represented results of the research can be used in fabrication as the modern laboratories of the oil-refining enterprises can determine quite efficiently the chemical composition of oil products used in compounding processes in bitumen binding agents production.

Keywords: bitumen, tar, nanodispersed systems, oils, resins, asphaltenes, chemical group composition, compounding, physicochemical properties.

For citation: Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakkulova E.M., Serezhkina N.G. The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 512–525. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

`
The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 512–525. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525 is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/" rel="cc:morePermissions">http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.</code>`

The paper has been received by editors: 22.08.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 04.09.2019.

The paper has been accepted for publication: 10.09.2019.

Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава

Авторы:

Евдокимова Наталья Георгиевна,

д-р. техн. наук, проф. каф. «Химико-технологические процессы», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал УГНТУ в г. Салавате, Салават, Башкортостан, Россия, ruskih1.r@yandex.ru;

Егорова Надежда Александровна,

ст. преподаватель каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават, Салават, Башкортостан, Россия, kushner-nadia@mail.ru;

Султанова Диана Петровна,

магистрант каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават, Салават, Башкортостан, Россия, d.ishkina@mail.ru;

Кунаккулова Эльвира Маратовна,

магистрант каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават, Салават, Башкортостан, Россия, btp1421elvira@gmail.com;

Сережкина Наталья Геннадьевна,

ст. преподаватель каф. «Общенаучные дисциплины» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават, Салават, Башкортостан, Россия, sng-tasha@yandex.ru

Резюме: В работе проведены исследования по изучению химического состава и физико-химических свойств дорожных битумов, полученных методом компаундирования глубокоокисленных битумов, гудронов и вакуумного газойля различного углеводородного состава. Отмечено, что битумы будут обладать оптимальным комплексом свойств, когда сформирован наилучший групповой химический состав трех основных элементов битумных вяжущих: масел, смол и асфальтенов, который в свою очередь формирует наилучшую структуру нефтяной дисперсной системы битума. Целью исследований стал подбор группового химического состава компаундированных дорожных битумов, который обеспечит образование нанодисперсной структуры битума типа «золь-гель», показатели качества которого будут соответствовать требованиям нового стандарта ГОСТ 33133-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие».

Анализ результатов исследований позволил установить оптимальный групповой химический состав компаундированных битумов, соответствующих по физико-химическим свойствам требованиям стандарта. Установлено, что чем выше дисперсность битума, тем более пластичными свойствами он обладает, кроме того снижается способность битума к термоокислительным процессам старения. Найден диапазон значений дисперсности битума и наиболее оптимальные значения отношения асфальтенов к сумме масел и смол для битума марки БНД 100/130 и битума марки БНД 70/100, которые обеспечат получение наноструктурированного битума типа «золь-гель».

Показано, что при переработке гудронов различного химического состава в битумном производстве методом компаундирования можно сформировать оптимальный групповой химический состав готовой продукции и с большей долей вероятности получить продукцию, соответствующую новому стандарту ГОСТ 33133-2014. Представленные в работе результаты могут быть квалифицированно использованы в производстве, т.к. современная лабораторная база нефтеперерабатывающих предприятий позволяет достаточно оперативно определять химический состав нефтепродуктов, используемых в процессах компаундирования при производстве битумных вяжущих.

Ключевые слова: битум, гудрон, нанодисперсные системы, масла, смолы, асфальтены, групповой химический состав, компаундирование, физико-химические свойства.

Для цитирования: Евдокимова Н.Г., Егорова Н.А., Султанова Д.П., Куннакулова Э.М., Сережкина Н.Г. Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 512–525. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525.

Машиночитаемая информация о CC-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

`
The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 512–525. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakulova E.M., Serezhkina N.G. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:ruskih1.r@yandex.ru" rel="cc:morePermissions">ruskih1.r@yandex.ru.`

Статья поступила в редакцию: 22.08.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 04.09.2019.

Статья принята к публикации: 10.09.2019.

INTRODUCTION

The use of the high-quality petroleum bitumen provides durability of asphalt coverings under heavy traffic conditions. The quality of bitumen as that of the petroleum disperse systems is directly connected with their structures and properties that are defined by the proportion of oils, resins and asphaltenes [1–9]. These three main structural elements of bitumen binding agents interact and form the variety of microheterogeneous nano-disperse structure [10–13].

One of the available and effective methods of petroleum bitumen production is the processing based on mixing deeply oxidized bitumen with heavy still bottoms (tar) – «compounding» [14–17]. This technology is introduced in some Russian enterprises. It permits to enlarge the production stock and to improve the petroleum bitumen properties. The best chemical group composition of bitumen and its dispersion [18–21] can be got by selecting the optimal ratio of compounds and the finished product will match the State Standard 33133-2014.

The bitumen will have the optimal complex of properties only if it has the best chemical group composition from oils, resins and asphaltenes and the definite

structure of petroleum disperse systems is formed. The studies of bitumen cross-linking processes permit to bring out the possible disperse structures forming in bitumen against the quantity and nature of asphaltenes, the kind of hydrocarbons and the quantity of resins in disperse environment.

The results represented in the research [22] show the dependence of bitumen running abilities from their chemical composition that is characterized by the scales of asphaltenes content ratio to resins content (A/R) and ratio of asphaltenes and resins amount to resins content (A+R)/O. It is set up that the heat -and cold-resistant bitumen with high strength must have 23% mass. of resins, 15–18% mass. of asphaltenes, 52–54% mass. of oils and ratio must be $A/R = 0,5–0,6$ and $(A+R)/O = 0,8–0,9$.

A.S. Kolbanovskaya [19, 23, 24] suggested her own bitumen classification having associated the nature of space supramolecular structure of bitumen with the content of main components in them and interaction degree between the particles of bitumen disperse stage. She defined three types of bitumen structure: «gel», «sol» and «sol-gel». The «sol-gel» structure is the optimal structure for bitumen. The usage of optimal structural sol-gel bitumen increases the durability of asphalt coverings for 1,

5–3 times in comparison with the coverings based on the bitumen of another structure [1]. According to her mind the bitumen must have the content of asphaltenes in the range 21–23%, resins – 29–34%, oils – 46–50%. The ratio of asphaltenes to the total amount of asphalt resinous substances ($A/(S+A)$) must be 0,39–0,44 and the ratio of asphaltenes to the amount of oils and resins ($A/(M+S)$) – 0,25–0,30.

Oil of new fields or its mixture is involved in the process of refining. The asphaltenes and resins nature and structure, hydrocarbons of this oil are different from that

used before. Everything will influence the properties of raw materials for bitumen production and bitumen itself. That is why the investigations, directed to studying and definition of modern bitumen chemical composition, are necessary because these results permit to form qualitative nanostructured bitumen binding agent of optimal structure for durable asphalt coverings.

The object of the research is the selection of the best group hydrocarbon composition of compounded paving bitumen that provides the formation of bitumen nano-disperse system as «sol-gel» which quality metrics match

Table 1
 Quality indicators of tar and deeply oxidized bitumen

Factors	Raw material			
	Tar I	Bitumen I	Tar II	Bitumen II
Conditional viscosity at 80°C, sec.	96	—	87	—
Change of softening temperature after deterioration, °C	4	8	4	8
Density at 15°C, kg/m ³	1001	—	1007	—
Temperature of flash in the open bowl, °C	341	—	332	—
Temperature of softening over ring and ball, °C	34	81	32	64
Depth of needle penetration at 25°C, 0,1 mm	—	42	—	38

Table 2
 Physicochemical properties of vacuum gas-oil fraction

Factor nomination	Values
Density at 20°C, kg/m ³	900
Temperature of distillation starting, °C	180
Oil products volume boils-off to 350°C, %	35
Temperature of distillation termination, °C	500
Volume fraction of excise tar, %	15
Flash temperature, °C	220

the requirements of the new State Standard 33133-2014 «Petroleum paving viscous bitumen».

The subject of the research: Tar (tar I, tar II), deeply oxidized bitumen (bitumen I, bitumen II) produced from this tar and vacuum gas-oil (VG) of primary oil refining installation were used as the subjects of research. The main factor of substances quality used here are shown in tables (1, 2).

The group hydrocarbon composition was determined at the laboratory installation «Gradient-M» with the thermal conduction sensor by the fluid absorption chromatography method with gradient driving. This

Table 3
 Group hydrocarbon composition of research subjects

Group combination nomination	Content, % mass.				
	Tar I	Tar II	Bitumen I	Bitumen II	Vacuum gas-oil
Paraffin naphthene hydrocarbons	26,8	24,8	29,8	23,8	73,6
Light aromatic hydrocarbons	13,7	15,6	9,0	10,1	8,6
Medium aromatic hydrocarbons	1,0	1,8	1,7	2,4	1,7
Heavy aromatic hydrocarbons	36,2	33,3	21,0	21,4	12,0
Amount of oils	77,7	75,5	61,5	57,7	95,9
Resins	19,9	20,3	20,0	24,0	2,6
Asphaltenes	2,4	4,2	18,5	18,3	1,5

technique permits to define the group composition of heavy-oil products with the least error. The heavy-oil products are divided into seven groups: paraffin naphthene hydrocarbons, light aromatic hydrocarbons, medium aromatic hydrocarbons, heavy aromatic hydrocarbons, resins and asphaltenes. Group hydrocarbon composition of components used in the research is represented in the table 3.

The results of research: The bitumen samples with softening temperatures of 45°C and 47°C were prepared by the method of compounding. The composition and chemical group composition of compounded bitumen got on base of raw material I, II and vacuum gas-oil are represented in tables (4, 5) and their physicochemical properties are in the tables (6, 7).

The physicochemical properties of obtained bitumen samples on base of raw material I and II are represented in tables (6, 7).

The analysis of the research results made it possible to set the optimal chemical group composition of compounded bitumen represented on the pictures 1 and 2.

One of the most important peculiarities of nanostructured bitumen system is dispersion that describes not only particles size of disperse phase in disperse system, shows the number of particles that can be put closely in one cubic meter, but also dispersion influences the physicochemical properties of bitumen binding agent. The more is the size of bitumen disperse phase, formed by asphaltenes generally, the more is its dispersion. The dispersion of the examined bitumen was defined according to [1]. The picture 3 shows dependences of asphaltenes ratio to the mount of oils and resins ($A/(O+R)$) from dispersion of compounded bitumen.

It has been determined that the higher the bitumen dispersion is, the more plastic properties it has. In addition, the bitumen ability to thermal-oxidative processes

Table 4

Composition and chemical group composition of compounded bitumen produced on the basis of raw material I, II and vacuum gas-oil

Sample number	Components content, %			Content, %		
	Bitumen	Tar	VG	Oils	Resins	Asphaltenes
1	49	46	5	71	19	10
2	66	24	10	69	18	13
3	60	25	15	71	17	12
4	60	20	20	72	17	12
5	60	35	5	69	19	12
6	73	17	10	68	18	14
7	70	15	15	69	17	14
8	75	5	20	69	17	14

Table 5

Composition and chemical group composition of compounded bitumen produced on the basis of raw material I, II and vacuum gas-oil

Sample number	Components content, %			Content, %		
	Bitumen	Tar	VG	Oils	Resins	Asphaltenes
1	60	35	5	66	22	13
2	68	22	10	65	21	14
3	85	0	15	63	21	16
4	65	30	5	65	22	13
5	75	15	10	64	21	15
6	82	3	15	64	21	15

Table 6

Physicochemical properties of bitumen produced on the basis of raw material I and vacuum gas-oil

Factor	Number of bitumen sample								State Standard 33133-2014	
	1	2	3	4	5	6	7	8	BND 100/130	BND 70/100
Softening temperature, °C	46	45	45	45	47	47	47	47	not lower than 45	not lower than 47
Change of softening temperature after deterioration, °C	4	4	7	11	7	11	10	7	not more than 7	not more than 7
Change sample mass after deterioration, % mass.	0	0	0	0	0,51	0	0	0	not more than 0,7	not more than 0,6
Depth of needle penetration at 0°C•0,1 mm	51	54	56	49	42	49	47	42	30	21
Depth of needle penetration at 25 °C•0,1 mm	130	139	140	142	102	93	97	100	101–130	71–100
Stretchability at 25°C, cm	77	48	73	65	45	37	18	62	not less than 70	not less than 62
Brittleness temperature, °C	–25	–29	–27	–28	–26	–34	–30	–26	not higher than –20	not higher than –18

Table 7

Physicochemical properties of bitumen produced on the basis of raw material II and vacuum gas-oil

Factor	Number of bitumen sample						State Standard 33133-2014	
	1	2	3	4	5	6	BND 100/130	BND 70/100
Softening temperature, °C	46	46	45	47	48	47	not lower than 45	not lower than 47
Change of softening temperature after deterioration, °C	6	6	6	5	8	4	not more than 7	not more than 7
Change sample mass after deterioration, % mass.	0	0	0,43	0	0,43	0	not more than 0,7	not more than 0,6
Depth of needle penetration at 0°C•0,1 mm	41	37	54	36	43	44	30	21
Depth of needle penetration at 25 °C•0,1 mm	104	110	118	80	82	83	101–130	71–100
Stretchability at 25°C, cm	74	69	58	41	51	76	not less than 70	not less than 62
Brittleness temperature, °C	–27	–25	–32	–28	–32	–32	not higher than –20	not higher than –18

of deterioration decreases. The value range of bitumen dispersion (2,7–3,5) and the most optimal ratio (A/(R+O)) for bitumen grade BND 100/130 – 0,11...0,15

and for bitumen grade BND 70/130 – 0,16...0,18 that provide production of nanostructured bitumen as «sol-gel» were found.

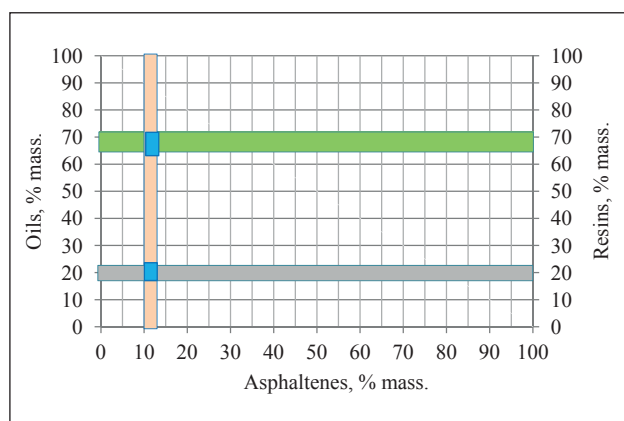


Fig. 1. Optimal chemical group composition of compounded bitumen for the grade BND 100/130

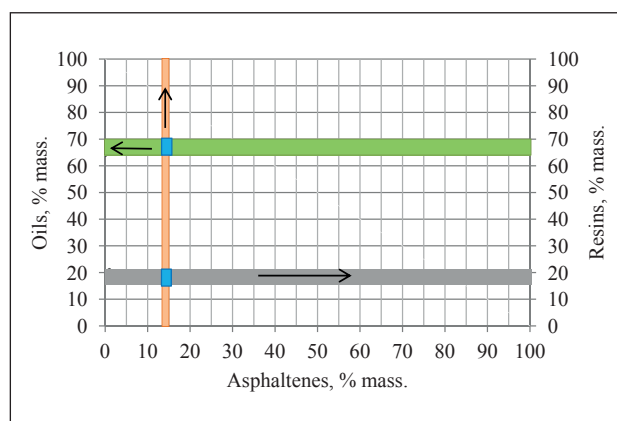


Fig. 2. Optimal chemical group composition of compounded bitumen for the grade BND 70/100

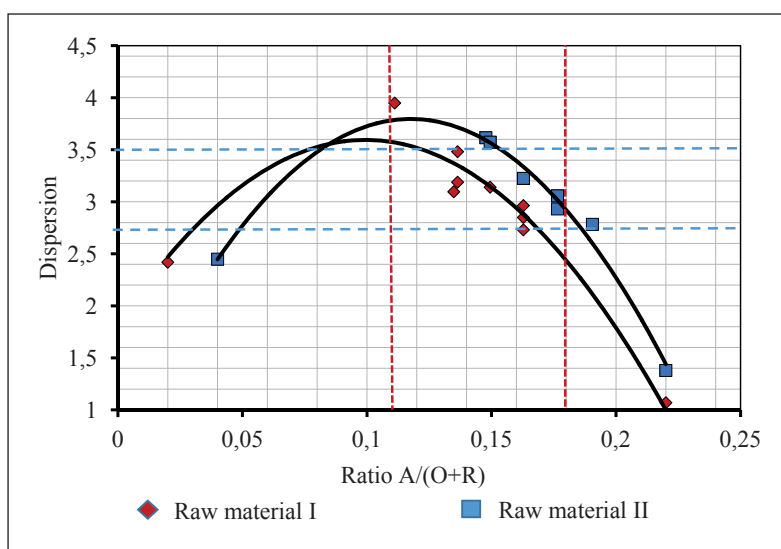


Fig. 3. Dependences of asphaltenes ratio to the amount of oils and resins ($A/(O+R)$) on dispersion of compounded bitumen produced on the basis of raw material I and II and vacuum gas-oil

CONCLUSION

Thus, when processing tar of different chemical composition the optimal chemical group composition of finished product can be formed by compounding. That rises probability that the end product will fit to the new State Standard 33133-2014.

The modern laboratories of the oil-refining enterprises can determine quite efficiently the chemical composition of oil products. Therefore the results represented here can be applied in production efficiently.

ВВЕДЕНИЕ

Применение высококачественных нефтяных битумов обеспечивает долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях интенсивного движения автотранспорта. Качество битумов как нефтяных дисперсных систем непосредственно связано с их структурой и свойствами, которые определяются количественным соотношением масел, смол и асфальтенов [1–9]. Эти три основных структурных элемента битумных вяжущих взаимодействуют между собой и образуют ту или иную разновидность микрогетерогенной нанодисперсной структуры [10–13].

Одним из перспективных и эффективных методов получения нефтяных битумов является технология, основанная на смешении глубокоокисленного битума с тяжелыми нефтяными остатками (гудронами) — «окисление-компаундирование» [14–17]. Данная технология внедрена на некоторых российских предприятиях. Она позволяет расширить ассортимент выпускаемой продукции и улучшить свойства нефтяных битумов. В результате подбора оптимального соотношения компаундов можно достичь наилучшего группового химического состава битума и его

дисперсности [18–21] и получить готовую битумную продукцию, соответствующую ГОСТ 33133-2014.

Битумы будут обладать оптимальным комплексом свойств только в том случае, когда они имеют наилучший групповой химический состав из масел, смол и асфальтенов и сформирована определенная структура нефтяной дисперсной системы. Исследования процессов структурообразования битумов позволяют выявить возможные дисперсные структуры, образующиеся в битуме в зависимости от количества и природы асфальтенов, вида углеводородов и количества смол в дисперсионной среде.

Результаты, представленные в работе [22], свидетельствуют о зависимости эксплуатационных свойств битумов от их химического состава, который характеризуется величинами отношения содержания асфальтенов к содержанию смол (A/C) и суммой асфальтенов и смол к содержанию масел $(A+C)/M$. Установлено, что битумы тепло- и морозостойкие с высокой прочностью должны содержать 23% масс. смол, 15–18% масс. асфальтенов, 52–54% масс. масел и иметь соотношения $A/C = 0,5–0,6$ и $(A+C)/M = 0,8–0,9$.

Колбановская А.С. [19, 23, 24] предложила свою систему классификации битумов, связав характер

Таблица 1

Показатели качества гудронов и глубокоокисленных битумов

Наименование показателей	Наименование сырья			
	Гудрон I	Битум I	Гудрон II	Битум II
Условная вязкость при 80°C, сек.	96	—	87	—
Изменение температуры размягчения после старения, °C	4	8	4	8
Плотность при 15°C, кг/м³	1001	—	1007	—
Температуры вспышки в открытом тигле, °C	341	—	332	—
Температура размягчения по КиШ, °C	34	81	32	64
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	—	42	—	38

Таблица 2

Физико-химические свойства фракции вакуумного газойля

Наименование показателей	Значения
Плотность при 20°C, кг/м³	900
Температура начала перегонки, °C	180
До 350°C выкипает, % об	35
Температура конца перегонки, °C	500
Объемная доля акцизных смол, %	15
Температура вспышки, °C	220

пространственной надмолекулярной структуры битумов с содержанием в них основных компонентов и степень взаимодействия между частицами дисперсной фазы битума. Она выделила три типа структур битума: «гель», «золь» и «золь-гель». Структура «золь-гель» является оптимальной структурой для битумов. Применение битумов оптимального структурного золь-гелевого типа обеспечивает увеличение срока службы дорожных покрытий в 1,5–3 раза по сравнению с покрытиями на основе битумов другой структуры [1]. По ее мнению, в битумах должно быть содержание асфальтенов в пределах 21–23% масс., смол — 29–34% масс. и масел — 46–50% масс. При

Таблица 3

Групповой углеводородный состав объектов исследования

Наименование групповых соединений	Содержание, % масс.				
	Гудрон I	Гудрон II	Битум I	Битум II	Вакуумный газойль
Парафино-нафтеновые углеводороды	26,8	24,8	29,8	23,8	73,6
Легкие ароматические углеводороды	13,7	15,6	9,0	10,1	8,6
Средние ароматические углеводороды	1,0	1,8	1,7	2,4	1,7
Тяжелые ароматические углеводороды	36,2	33,3	21,0	21,4	12,0
Сумма масел	77,7	75,5	61,5	57,7	95,9
Смолы	19,9	20,3	20,0	24,0	2,6
Asphaltenes	2,4	4,2	18,5	18,3	1,5

этом отношение асфальтенов к общей сумме асфальто-смолистых веществ ($A/(C+A)$) должно быть 0,39–0,44, а отношение асфальтенов к сумме масел и смол ($A/(M+C)$) – 0,25–0,30.

Однако в процессы переработки вовлекается нефть новых месторождений или ее смеси. Природа и структура асфальтенов, смол и виды углеводородов этой нефти отличны от тех, которая перерабатывалась ранее, и будут оказывать существенное влияние на свойства как сырья битумного производства, так и самих битумов. Поэтому исследования, направленные на изучение и определение химического состава современных битумов, являются необходимыми, т.к. полученные результаты позволят сформировать качественное наноструктурированное битумное вяжущее оптимальной структуры для долговечных асфальтобетонных дорожных покрытий.

Целью исследований стал подбор наилучшего группового углеводородного состава компаундированных

дорожных битумов, который обеспечит образование нанодисперсной структуры битума типа «золь-гель», показатели качества которого обеспечат требования нового стандарта ГОСТ 33133-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие».

Объекты исследований. В качестве объектов исследований были использованы гудроны (гудрон I, гудрон II), глубокоокисленные битумы (битум I, битум II), полученные из этих гудронов, и вакуумный газойль (ВГ) установки первичной переработки нефти. Основные показатели качества используемых веществ показаны в табл. 1 и 2.

Групповой углеводородный состав определяли на лабораторной установке «Градиент-М» с детектором по теплопроводности методом жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением. Данная методика позволяет с наименьшей погрешностью определить групповой состав тяжелых нефтепродуктов с разделением на семь групп: пара-

Таблица 4

Состав и групповой химический состав образцов битумов, полученных на основе сырья I и вакуумного газойля

№ образца	Содержание компонентов, %			Содержание, %		
	Битум	Гудрон	ВГ	Масла	Смолы	Асфальтены
1	49	46	5	71	19	10
2	66	24	10	69	18	13
3	60	25	15	71	17	12
4	60	20	20	72	17	12
5	60	35	5	69	19	12
6	73	17	10	68	18	14
7	70	15	15	69	17	14
8	75	5	20	69	17	14

Таблица 5

Состав и групповой химический состав образцов битумов, полученных на основе сырья II и вакуумного газойля

№ образца	Содержание компонентов, %			Содержание, %		
	Битум	Гудрон	ВГ	Масла	Смолы	Асфальтены
1	60	35	5	66	22	13
2	68	22	10	65	21	14
3	85	0	15	63	21	16
4	65	30	5	65	22	13
5	75	15	10	64	21	15
6	82	3	15	64	21	15

фино-нафтеновые углеводороды, легкие, средние, тяжелые ароматические углеводороды, смолы, асфальтены. Групповой углеводородный состав компонентов, применяемых в ходе исследований, представлен в табл. 3.

Результаты исследований

Методом компаундирования были приготовлены образцы битумов с температурами размягчения

45 и 47°C. Состав и групповой химический состав компаундированных битумов, полученных на основе сырья I и II и вакуумного газойля, приведены в табл. 4 и 5, а их физико-химические свойства — в табл. 6 и 7.

Физико-химические свойства полученных образцов битума на основе сырья I и II представлены в табл. 6 и 7.

Анализ результатов исследований позволил установить оптимальный групповой химический состав

Таблица 6

Физико-химические свойства битумов, полученных на основе сырья I и вакуумного газойля

Показатель	№ образца битума								ГОСТ 33133-2014	
	1	2	3	4	5	6	7	8	БНД 100/130	БНД 70/100
Температура размягчения, °C	46	45	45	45	47	47	47	47	не ниже 45	не ниже 47
Изменение температуры размягчения после старения, °C	4	4	7	11	7	11	10	7	не более 7	не более 7
Изменение массы образца после старения, % масс.	0	0	0	0	0,51	0	0	0	не более 0,7	не более 0,6
Глубина проникания иглы при 0°C•0,1 мм	51	54	56	49	42	49	47	42	30	21
Глубина проникания иглы при 25°C•0,1 мм	130	139	140	142	102	93	97	100	101–130	71–100
Растяжимость при 25°C, см	77	48	73	65	45	37	18	62	не менее 70	не менее 62
Температура хрупкости, °C	–25	–29	–27	–28	–26	–34	–30	–26	не выше –20	не выше –18

Таблица 7

Физико-химические свойства битумов, полученных на основе сырья II и вакуумного газойля

Показатель	№ образца битума						ГОСТ 33133-2014	
	1	2	3	4	5	6	БНД 100/130	БНД 70/100
Температура размягчения, °С	46	46	45	47	48	47	не ниже 45	не ниже 47
Изменение температуры размягчения после старения, °С	6	6	6	5	8	4	не более 7	не более 7
Изменение массы образца после старения, % масс.	0	0	0,43	0	0,43	0	не более 0,7	не более 0,6
Глубина проникания иглы при 0°С • 0,1 мм	41	37	54	36	43	44	30	21
Глубина проникания иглы при 25°С • 0,1 мм	104	110	118	80	82	83	101–130	71–100
Растяжимость при 25°С, см	74	69	58	41	51	76	не менее 70	не менее 62
Температура хрупкости, °С	–27	–25	–32	–28	–32	–32	не выше –20	не выше –18

компаундированных битумов, представленный на рис. 1 и 2.

Одной из важных характеристик наноструктурированной системы битума является дисперсность, которая характеризует не только размер частиц дисперсной фазы в дисперсной системе, показывает, какое число частиц можно уложить вплотную в одном кубическом метре, но и влияет на физико-химические свойства битумного вяжущего. Чем меньше размер частиц дисперсной фазы битума, который формируется в основном асфальтенами, тем больше его дисперсность [3, 4, 19]. Дисперсность исследуемых битумов определялась по [1]. На рис. 3 показаны

зависимости отношения асфальтенов к сумме масел и смол ($A/(M+C)$) от дисперсности компаундированных битумов.

Установлено, что чем выше дисперсность битума, тем более пластичными свойствами он обладает, кроме того снижается способность битума к термоокислительным процессам старения. Найден диапазон значений дисперсности битума (2,7–3,5) и наиболее оптимальные значения отношения $A/(C+M)$ для битума марки БНД 100/130 – 0,11...0,15 и для битума марки БНД 70/100 – 0,16...0,18, которые обеспечат получение наноструктурированного битума типа «золь-гель».

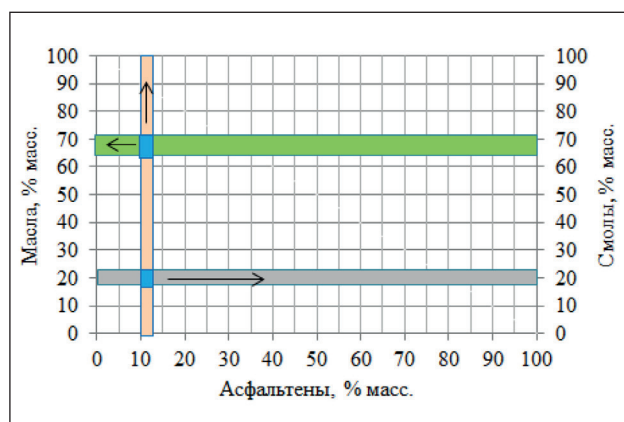


Рис. 1. Оптимальный групповой химический состав компаундированных битумов для марки БНД 100/130

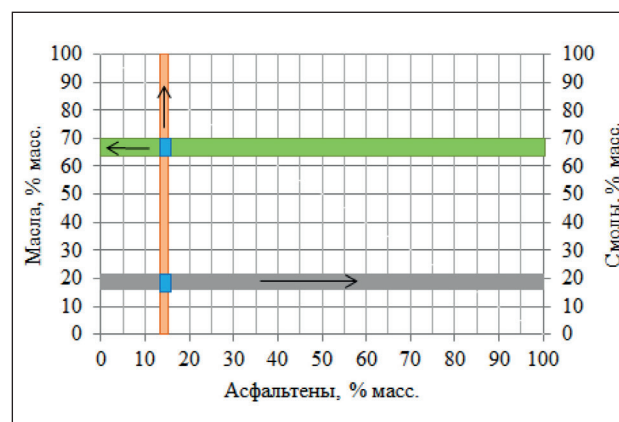


Рис. 2. Оптимальный групповой химический состав компаундированных битумов для марки БНД 70/100

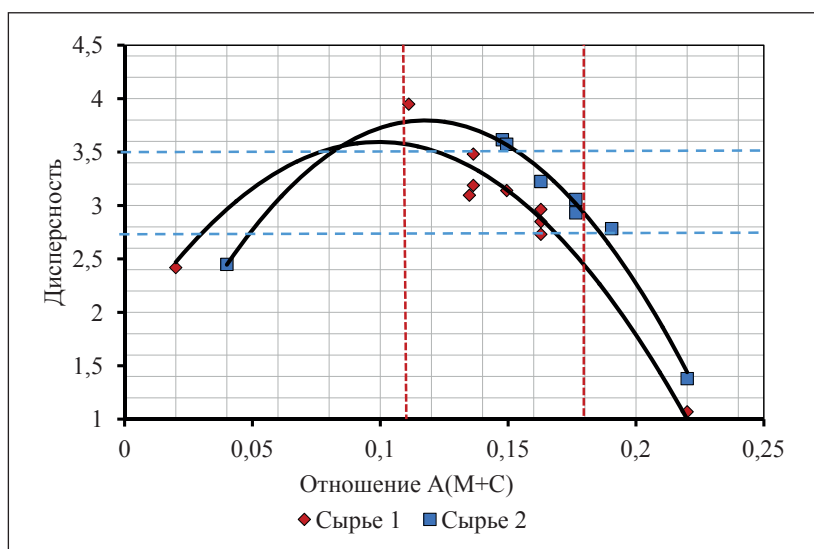


Рис. 3. Зависимости отношения асфальтенов к сумме масел и смол ($A/(M+C)$) от дисперсности компаундированных битумов, полученных на основе сырья I и II и вакуумного газойля

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в битумном производстве методом компаундирования можно сформировать оптимальный групповой химический состав готовой продукции и с большей долей вероятности получить продукцию, соответствующую новому стандарту ГОСТ 33133-2014.

Современная лабораторная база нефтеперерабатывающих предприятий позволяет достаточно оперативно определять химический состав нефтепродуктов, поэтому результаты, представленные в работе, могут быть квалифицированно использованы в производстве.

REFERENCES

1. Gong R.B. Oil bitumen. Moscow: Chemistry, 1973. 432 p. (In Russian).
2. Rebinder P.A. Surface phenomena in disperse systems. Moscow: Science, 1978. 294 p. (In Russian).
3. Safieva R.Z. Physical chemistry of oil. Physical and chemical basis of oil refining technology. Moscow: Chemistry, 1998. 448 p. (In Russian).
4. Syunyaev Z.I., Safieva R.Z., Syunyaev R.I. Oil disperse systems. Moscow: Chemistry, 1990. 226 p. (In Russian).
5. Rudenskaya I.M., Rudensky A.V. Organic binding agents for road construction. Moscow: Infra-M, 2010. 267 p. (In Russian).
6. Fryazinov V.V. Investigation of influence of hydrocarbon component on properties of bitumen: dis. cand. sc. eng.: 05.17.07. Ufa, 1975. 216 p. (In Russian).
7. Apostolov S.A. Scientific basis for the production of bitumen. Leningrad: Publishing house of LSU, 1988. 165 p. (In Russian).
8. Akhmetov B.R., Evdokimov I.N., Eliseev N.Yu. Some features of supramolecular structures in oil environment. Chemistry and technology of fuels and oils. 2002. No. 4. Pp. 41–43. (In Russian).
9. Belokon N.Yu. Kompaneets V.G., Kolpakov I.V. Investigation of the tar group composition influence on the quality of industrial oxidized bitumen. Refining and petrochemistry. 2001. No. 1. P. 19–23. (In Russian).
10. Rudenskaya I.M., Rudensky A.V. Organic binding agents for road construction. Moscow: Infra-M, 2010. 267 p. (In Russian).
11. Unger F.G., Andreeva L.N. Fundamental aspects of petroleum chemistry. Nature of resins and asphaltene. Novosibirsk: Nauka Publ. 1995. 192 p. (In Russian).
12. Nelyubova V.V., Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Podgorniy I.I., Palshina Yu.V. Peculiarities of nanostructured binding agents depending on the genesis of raw material. Vestnik BGUTU im. V.G. Shuhova. 2015. No.2. Pp. 25–28. (In Russian).
13. Gotovtsev V.M., Shatunov A.G., Rummyantsev A.N., Sukhov V.D. Nanotechnologies in the production of asphalt concrete. Fundamental studies. 2013. No. 11. Pp. 191–195. (In Russian).

14. Evdokimova N.G., Khartanovich K.V., Zhirnov B.S., Khannanov N.R. Receiving paving bitumen by compounding overoxidized bitumen with tar. Electronic scientific journal «Oil and gas business». 2005 No. 1. (14.01.05). http://www.ogbus.ru/authors/Evdokimova/Evdokimova_1.pdf. (In Russian).
15. Evdokimova N.G., Sajfullina A.A., Sharipov A.V. Optimization of the paving bitumen compounding mode at the bitumen installation of JSC «Salavatnefteorgsintez». Materials of the III all-Russian scientific and production conference on the production and use of bitumen materials. Perm: LUKOIL-Permnefteorgsintez, 2007. Pp. 29–30. (In Russian).
16. Evdokimova N.G., Alieva E.A. Production of paving bitumen according to the scheme of “oxidation-compounding” with the usage of a vacuum residue of viscosity breaking installation as a modifier of oxidation raw material. In the collection “Deep processing of oil disperse systems”: materials of VI international scientific-technical conference. Moscow: TUMA GROUP, 2011. Pp. 138–140. (In Russian).
17. Kurakulov E.M., Ishkina D.P., Evdokimova N.G. Selection of components for the bitumen production according to the scheme of “oxidation-compounding” on the basis of their chemical composition. Materials of the Intern. science.-method. Conf. “Integration of science and education in oil and gas universities”. Ufa: USPTU. 2018. Pp. 128–131. (In Russian).
18. Kurakulov E.M., Ishkina D.P., Evdokimova N.G. Determining the optimal chemical composition of the compounded paving bitumen. Materials of Intern. Theor. and Pract. Conf. dedicated to the 70-th anniversary of Gazprom Neftekhim Salavat. Ufa: USPTU. 2018. Pp. 36–38. (In Russian).
19. Evdokimova N.G. Development of the scientific-technological basis of modern bituminous materials production as the petroleum disperse systems. Dr. Sc. Eng. diss.]. Moscow: Russian state University of oil and gas named after I. M. Gubkin, 2015. 410 p. (In Russian).
20. Kolbanovskaya A.S. Study of disperse structures in petroleum bitumen in order to obtain optimal material for road construction: abstract of Doctorate thesis. Moscow, 1967. 43 p. (In Russian).
21. Efremov A.V. Basyrov M.I., Nikiforov N.N., Evdokimova N.G., Saifullin A.A., Kozlov Yu.M. Study of the compounding process when producing paving bitumen on bituminous installation. Refining and petrochemistry. 2008. No. 4–5, pp. 70–73. (In Russian).
22. Erich V.N. Petroleum bitumen. Chemistry and technology of oil and gas. Leningrad: Chemistry, 1985. Pp. 350–355. (In Russian).
23. Kolbanovskaya A.S., Mikhailov V.V. Paving bitumen. Moscow: Transport, 1973. 264 p. (In Russian).
24. Kolbanovskaya A.S., Davydov, A.R., Sabzi O.Y. Structure formation of paving bitumen. Physicochemical mechanics of disperse structures. Moscow: Science, 1966. Pp. 103–113. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. — М.: Химия, 1973. — 432 с.
2. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. — М.: Наука, 1978. — 294 с.
3. Сафиева Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти. — М.: Химия, 1998. — 448 с.
4. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.И. Нефтяные дисперсные системы. — М.: Химия, 1990. — 226 с.
5. Руденская И.М., Руденский А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. — М.: Инфра-М, 2010. — 267 с.
6. Фрязинов В.В. Исследование влияния углеводородного компонента на свойства битумов: дис. канд. техн. наук: 05.17.07. — Уфа. — 1975. — 216 с.
7. Апостолов С.А. Научные основы производства битумов. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. — 165 с.
8. Ахметов Б.Р., Евдокимов И.Н., Елисеев Н.Ю. Некоторые особенности надмолекулярных структур в нефтяных средах // Химия и технология топлив и масел. — 2002. — № 4. — С. 41–43.
9. Белоконов Н.Ю., Компанец В.Г., Колпаков И.В. Исследование влияния группового состава гудронов на качество промышленных окисленных битумов // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2001. — № 1. — С. 19–23.
10. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. — М.: Инфра-М, 2010. — 267 с.
11. Унгер Ф. Г., Андреева Л. Н. Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и асфальтенов. — Новосибирск: Наука, 1995. — С. 192.
12. Нелюбова В.В., Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Подгорный И.И., Пальшина Ю.В. Особенности наноструктурированного вяжущего в зависимости от генезиса сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2015. — № 2. — С. 25–28.
13. Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.Д. Нанотехнологии в производстве асфальтобетона // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 11. — С. 191–195.
14. Евдокимова Н.Г., Кортянович К.В., Жирнов Б.С., Ханнанов Н.Р. Получение дорожных битумов компаундированием переокисленных битумов с гудроном // «Нефтегазовое дело». — 2005. — № 1. (14.01.05). http://www.ogbus.ru/authors/Evdokimova/Evdokimova_1.pdf.
15. Евдокимова Н.Г., Сайфуллина А.А., Шарипов А.В. Оптимизация режима компаундирования дорожных битумов на битумной установке ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» // Материалы III Всероссийской научно-производственной конференции по проблемам производства и применения битумных материалов. — Пермь: Лукойл-Пермнефтеоргсинтез, 2007. — С. 29–30.
16. Евдокимова Н.Г., Ялиева Э.А. Получение дорожных битумов по схеме «окисление-компаундирование» с использованием вакуумного остатка установки висбрекинга в качестве модификатора сырья окисления // В сб. «Глубокая переработка нефтяных дисперсных систем»: материалы VI международной научно-технической конференции. — М.: Изд-во «Техника», ТУМА ГРУПП, 2011. — С. 138–140.

17. Кунаккулова Э.М., Ишкина Д.П., Евдокимова Н.Г. Подбор компонентов для производства нефтяных битумов по схеме «окисление-компаундирование» на основе их химического состава // Материалы Междунар. науч.-метод. конф. «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля». — Уфа: УГНТУ, 2018. — С. 128–131.
18. Кунаккулова Э.М., Ишкина Д.П., Евдокимова Н.Г. Определение оптимального химического состава компаундированных дорожных битумов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию ООО «Газпром нефтехим Салават». — Уфа: УГНТУ, 2018. — С. 36–38.
19. Евдокимова Н.Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем: дис. док. техн. наук: 05.17.07. — М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. — 410 с.
20. Колбановская А.С. Исследование дисперсных структур в нефтяных битумах с целью получения оптимального материала для дорожного строительства: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.17.07. — М., 1967. — 43 с.
21. Ефремов А.В., Басыров М.И., Никифоров Н.Н., Евдокимова Н.Г., Сайфуллина А.А., Козлова М.Ю. Исследование процесса компаундирования при получении дорожных битумов на битумной установке // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2008. — № 4–5. — С. 70–73.
22. Эрих В.Н. Нефтяные битумы // Химия и технология нефти и газа. — Л.: Химия, 1985. — С. 350–355.
23. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. — М. Транспорт, 1973. — 264 с.
24. Колбановская А.С., Давыдова А.Р., Сабсай О.Ю. Структурообразование дорожных битумов. Физико-химическая механика дисперсных структур. — М.: Наука, 1966. — С.103–113.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalya G. Evdokimova, Doctor of Engineering, Associate Professor of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat; Gubkin St., 22B, Salavat, Bashkortostan, Russian Federation, ruskih1.r@yandex.ru;

Egorova Nadezhda Aleksandrovna, Graduate Student, Senior Lecturer of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat; Gubkin St., 22B, Salavat, Bashkortostan, Russian Federation, kushner-nadia@mail.ru;

Sultanova Diana Petrovna, Undergraduate of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat; Gubkin St., 22B, Salavat, Bashkortostan, Russian Federation, d.ishkina@mail.ru;

Kunakkulova Elvira Maratovna, Undergraduate of Department «Chemical and Technological Processes», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat; Gubkin St., 22B, Salavat, Bashkortostan, Russian Federation, btp1421elvira@gmail.com;

Serezhkina Natalia Gennadievna, Senior Lecturer of Department «General Scientific Disciplines», Ufa State Petroleum Technical University, Branch of the University in the City of Salavat; Gubkin St., 22B, Salavat, Bashkortostan, Russian Federation, sng-tasha@yandex.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

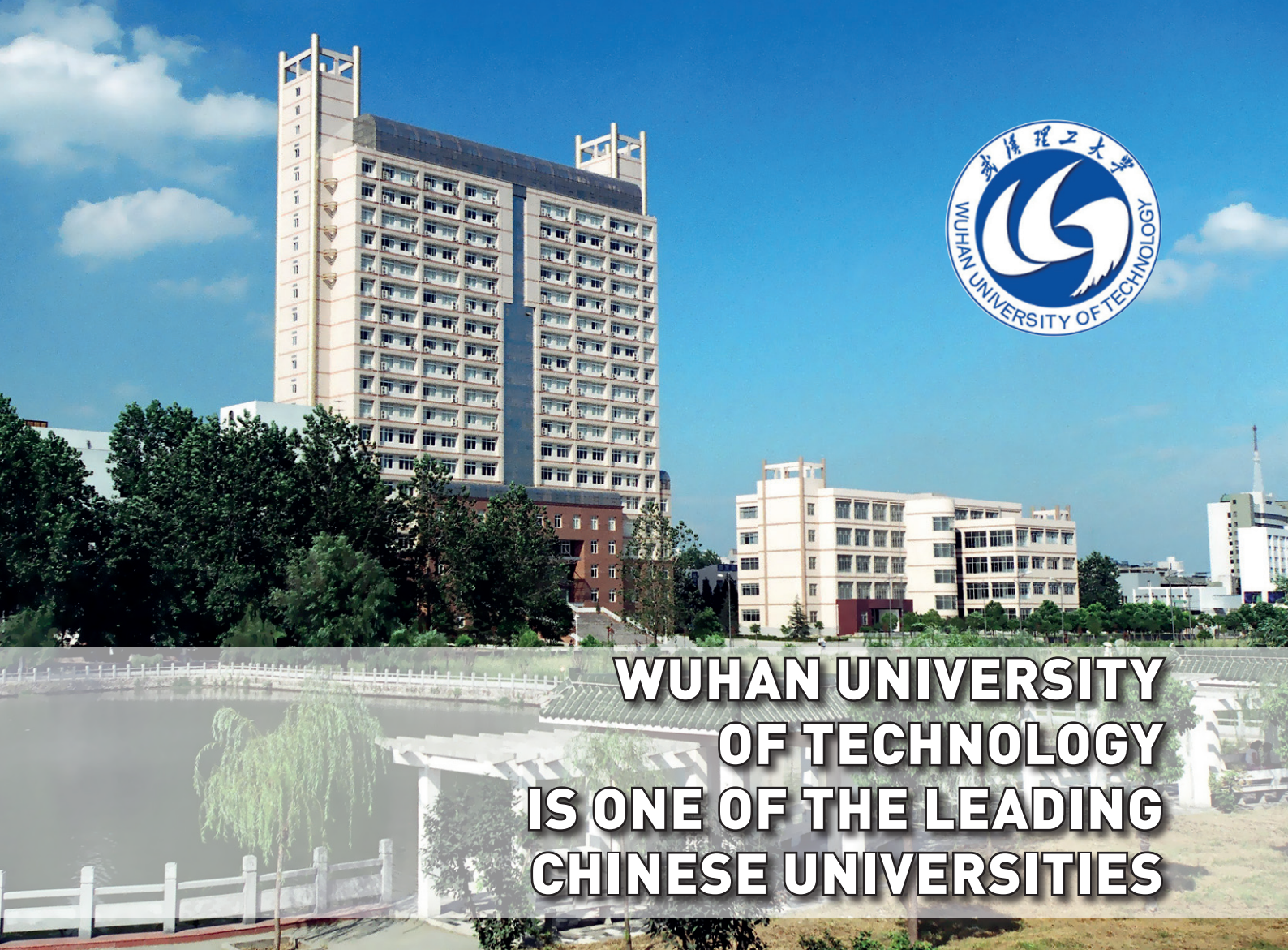
Евдокимова Наталья Георгиевна, д-р. техн. наук, проф. каф. «Химико-технологические процессы», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал УГНТУ в г. Салавате; ул. Губкина, д. 22 Б, г. Салават, Башкортостан, Россия, 453200, ruskih1.r@yandex.ru;

Егорова Надежда Александровна, аспирант, ст. преподаватель каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават; ул. Губкина, д. 22 Б, г. Салават, Башкортостан, Россия, 453200, kushner-nadia@mail.ru;

Султанова Диана Петровна, магистрант каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават; ул. Губкина, д. 22 Б, г. Салават, Башкортостан, Россия, 453200, d.ishkina@mail.ru;

Кунаккулова Эльвира Маратовна, магистрант каф. «Химико-технологические процессы» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават; ул. Губкина, д. 22 Б, г. Салават, Башкортостан, Россия, 453200, btp1421elvira@gmail.com;

Сережкина Наталья Геннадьевна, ст. преподаватель каф. «Общенаучные дисциплины» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават; ул. Губкина, д. 22 Б, г. Салават, Башкортостан, Россия, 453200, sng-tasha@yandex.ru.



About Wuhan University of Technology

Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) was merged on May 27th 2000, from the former Wuhan University of Technology (established in 1948), Wuhan Transportation University (established in 1946) and Wuhan Automotive Polytechnic University (established in 1958). WUT is one of the leading Chinese universities under the direct administration of the Ministry of Education and one of the universities in the country's construction plan of world-class universities and first-class disciplines. WUT is also jointly constructed by the Ministry of Education, the Ministry of Transport, the State Oceanic Administration and the State Administration of Science, Technology and Industry for National Defense. In the past 70 years, WUT has fostered over 500,000 engineers and technicians, maintaining itself the largest scale university under the direct administration of the Ministry of Education for nurturing talents oriented in the three industrial sectors: building materials industry, transportation industry and automobile industry and retaining itself an important base of nurturing high-level talents for the three indus-

trial sectors as well as providing significant scientific and technological achievements.

With the practice of long-term student's education, WUT has formed educational ideology system with distinctive characteristics: focusing on the lofty ideal of building an excellent university to win a worldwide recognition and admiration, the University has forged the spirit of «Sound in Morality, Broad in Learning and Pursuing Excellence», promoted the guiding principle of «take the students cultivation as our essence, and take academic development as our priority», and exercised the educational concept of «implementing excellent education, nurturing excellent talents and creating an excellent life». WUT is committed to building an excellent university that provides an excellent education to lead our students to a fulfilled life with excellent pursuit and excellent capability.

The University has three main campuses, namely, the Mafangshan Campus, the Yujiatou Campus and the South Lake Campus, with a total occupying land area of 267 hectares. Currently, WUT has 5,508 staff members, including 3,282 full-time academic staff members, 1 academician of China Academy of Science, 3 aca-



demicians of China Academy of Engineering, 1 foreign member of the Russian Academy of Engineering, 1 member of European Academy of Sciences, 1 fellow of Australian Academy of Technological Sciences and Engineering and 1 member of World Academy of Ceramics. Besides, the University has held public global recruitment of 30 world-renowned professors to be its «Strategic Scientists» in the area of Materials Science & Engineering, Mechanical Engineering, Information Technology and Naval Architecture & Ocean Engineering. WUT owns a great number of academic staff members listed in national high-level talents programs, with 28 of them listed in the Recruitment Program of Global Experts (known as »the Thousand Talents Plan«), 6 listed in «Ten Thousand Talents Program», 14 listed in «Cheung Kong Scholars Program», 7 listed in «The National Science Fund for Distinguished Young Scholars», 3 listed in «National Renowned Teachers» and 11 listed in «The New Century National Hundred, Thousand and Ten Thousand Talent Project».

The University owns 24 academic schools, 4 State Key Laboratories, 8 State key Disciplines, 77 Doctoral programs, 226 Master's programs as well as 90 Bachelor's programs. The University has 54,986 students, including 36,452 undergraduates, 17,224 postgraduates (Master and PhD students), and 1,310 international students. Besides, Material Science, Engineering Science and Chemistry rank the top 5% in ESI (Essential Science Indicators) global discipline ranking list.

WUT owns 34 innovative research centers with international leading level including two State Key Laboratories, one State Engineering Laboratory, one National Engineering Research Center and ministerial or provincial level laboratories in the areas of new materials and build-

ing materials, transportation and logistics, mechatronics and automobile, information technology, new energy, resources and environmental technology as well as Public Safety and Emergency Management. Meanwhile, the University has established about 230 Joint Research Centers with local governments and enterprises. From 2010, WUT has obtained 14 National Science and Technology Awards, ranking in the forefront of Chinese higher education institutions.

WUT has established cooperative relations for students exchange and scientific research with more than 190 foreign universities and research institutions from USA, UK, Japan, France, Australia, Russia and the Netherlands, etc. and invited over 300 international famous scholars to be strategic scientist, guest professors or honorary professors. From 2007, WUT was authorized to establish 5 Bases of Foreign Outstanding Expertise-Introduction for Disciplines Innovation in China Leading Universities in Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Advanced Technology for High Performance Ship, Advanced Technology for Functional Film Materials Fabrication and Its Application in Engineering, Key Technology for New Energy Vehicles and Environmental-friendly Building Materials. As well, the International Joint Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, the Base of International Science and Technology Cooperation in Environmental-friendly Building Materials, the base of International Science and Technology Cooperation on Smart Shipping and Maritime Safety. From 2009, WUT has established 14 International Joint Research Centers with internationally renowned institutions from USA, UK, Italy and the Netherlands, including

the «WUT-UM Joint New Energy Material and Conversion Technology Key Laboratory» with the University of Michigan, the «WUT-UoS High Performance Ship Technology Joint Center» with the University of Southampton and the «Joint Research Center for Intelligent Ship and Traffic» with Delft University of Technology. In 2016, an international college initiative – the UWTSD Wuhan Ligong College was established in Swansea in partnership with the University of Wales Trinity Saint David, UK.

In 2017, the University was listed in *Times Higher Education World University Rankings*, *QS Asia University Rankings*, *U.S. News Best Global Universities Rankings* and *ShanghaiRanking's Academic Ranking of World Universities*.

Overview of the International School of Materials Science and Engineering

Driven by the great demand for national higher education reformation, the International School of Materials Science and Engineering (hereafter referred to as ISMSE), Wuhan University of Technology (hereafter referred to as WUT) is aimed to build the top-notch innovative talent training base and knowledge innovation centre of Materials Science and Engineering.

WUT is one of the leading Chinese universities under the direct administration of the Ministry of Education and one of the universities constructed in priority by the «State 211 Project» for Chinese higher education institutions.

Since 1996, WUT has implemented the talent cultivation system reforms through setting up pilot classes, including international cultivation programs, under-

graduate-Master program and undergraduate-PhD. program. In April 2014, ISMSE was founded and approved by the Hubei Provincial Department of Education. In June 2015, ISMSE was selected into the list of the «Network of International Centers for Education» supported by the Ministry of Education of P. R. China and the State Administration of Foreign Experts Affairs. ISMSE is devoted to building the world-leading MSE discipline through optimization of a high-level research and teaching team and establishment of an innovative talents training system, thereby to support the development of materials industry as a technology platform as well as a talent pool.

WUT's Discipline «Material Science and Engineering» enters Top 2% in the Fourth China Discipline Ranking

China Academic Degrees & Graduate Education Development Center (CDGDC) has recently announced the results of the Fourth China Discipline Ranking, with WUT's Discipline «Material Science and Engineering» listed at the highest level: Level A+ (3 universities listed in all, ranking Top 2% in China).

Among the evaluated disciplines, four disciplines of WUT including Mechanical Engineering, Transportation Engineering, Design Science and Marxist Theory are listed at the Level B+ (ranking top 10%–20%), and six disciplines are listed at the Level B (ranking top 20%–30%), including Applied Economics, Civil Engineering, Information and Communication Engineering, Computer Science and Technology, Environmental Science and Engineering and Management Science and Engineering.





Compared with the former three China Discipline rankings, the discipline rankings of WUT has witnessed a substantial improvement, with the discipline of Top 2% rising from scratch. Meanwhile, the number of Top 10%–20% disciplines has increased from zero to four, Top 20%–30% disciplines from four to six. The followings are the disciplines with remarkable improvements: Material Science and Engineering, Mechanical Engineering, Transportation Engineering, Marxist Theory and Applied Economics, etc.

Since the merge of three schools in 2000, driven by the national construction of significant projects such as «State Project 211» and «985 Innovation Platform for Superior Disciplines», WUT's discipline of «Material Science and Engineering» has witnessed a significant growth in disciplinary connotations presented in high-level faculty, scientific researches, cultivation of innovative talents, and international cooperation communications, etc. The discipline's overall strength and level have been boosted in the past years, ranking rising from No. 22 in 2002 to No. 5 in 2012, and further up to No. 3 in this year. Over the past 70 years, the discipline has cultivated a large number of high-level talents for our national building materials and new materials industry with more than 100 significant scientific and technological achievements. It has made historic contributions to the development of the national building materials industry, promoting the Chinese building materials industry to grow steadily to take the lead in the world building industries now.

State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing (Wuhan University of Technology)

The State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing (short for SKL) is a state key Laboratory in the area of advanced materials which was funded by the National Planning Commission and established in Wuhan University of Technology in 1987. The SKL is under supervision of the administration of the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Professor Gu Binglin, an Academician of Chinese Academy of Sciences, is the director of the academic committee of SKL and Professor Zhengyi Fu is the current director of SKL.

SKL aims at the frontiers of world materials science and major national needs, builds a world-class material composite and preparation technology platform, and develops key new materials for the development of national sophisticated weapons and emerging industries to support national strategies; SKL produces original and systematic research results with international influence in transformative technology and frontier new materials and their intersecting fields, leading international development in the research of a number of strategic frontier new material; SKL leads in the training of top-notch innovation talents in world-class disciplines of materials science and engineering with outstanding scientific research, creating an international

collaborative innovation culture, conducting «strong-strong» international cooperation research to enhance the laboratory's international influence, attractiveness and cohesion.

Focusing on the overall positioning and goals, SKL will create and develop multi-component, multi-scale, multi-level composite principle and material design theory as important guides to build material gradient composite technology, in-situ composite technology, nano-composite technology and integrated innovation platform as the core support, to study advanced composite materials for advanced weaponry and equipment for defense, efficient energy conversion and storage materials for new energy technologies, nano-composite biomaterials for life sciences, information functional materials for information technology and transformation-oriented technology. SKL has formed the following five distinctive research directions: gradient composite technology and new materials, in-situ composite technology and new materials, nano-composite technologies and new materials, transformative technologies and cutting-edge new materials, material composite principles and material design.

SKL employs 103 full time researchers, including 1 academician of Chinese Academy of Sciences, 2 academicians of Chinese Academy of Engineering, 1 academician of Belgian Royal Academy of Sciences and European Academy of Sciences, 1 academician of World Academy of Ceramics, 12 Distinguished Foreign Experts, 1 973 Program Chief Scientist, 5 winners for Outstanding Youth Training Fund, 4 leading talents of National Ten Thousand People Program, 7 winners for Pacesetter Engineering in the New Century, 5 Cheung-Kong Scholars, and 18 winners for the New Century Excellent Talents Support Plan of the Ministry of Education. It is a spirited team of innovation and creation. SKL encourages young scholars to visit famous international universities or research institutes for further improvement and cooperation. In recent years, the lab has sent more than 20 young scholars to engage in studies and research collaboration abroad.

SKL has accomplished win-win cooperation with internationally renowned research institutes such as the University of Michigan, the Japan Aerospace Technology Development Agency, the Institute of Metal Materials of Tohoku University in Japan, the Material Research Center of the University of Oxford in the United



Kingdom, the Composite Materials Research Center of the University of California, and the National Institute of Fuel Cell Research in Canada. Based on SKL, the Ministry of Science and Technology has established the International Joint Laboratory for New Materials and Compound Technologies, which is one of the first batches of 33 international joint laboratories in the China. The State Administration of Foreign Experts Affairs and the Ministry of Education established the Innovation and Intelligence Base for Material Composite new Technology and Advanced Functional Materials and Advanced Preparation Technology and Application Engineering of new Functional Thin Film Materials. SKL has established the WUT – Harvard University Nano Joint Laboratory, Joint Laboratory of New Energy Materials and Technology of Wuhan University of Technology–University of Michigan, Wuhan University of Technology–University of California, Davis, Multiplex Multi-scale New Technology Laboratory for Composite Materials, Wuhan University of Technology–Oxford Advanced Composite Ceramics Laboratory Etc.. Relying on those important international collaborative research platforms, SKL has undertaken a number international cooperation projects.

With an area of 25350 m², SKL possesses the required equipment for advanced materials synthesis and processing, material structure analysis, characterization and performance test, in total value of about 225.38 million RMB.

Contact information

Address: 122 Luoshi Road, Hongshan District, Wuhan, Hubei, P. R. China
Postal Code: 430070
Supporting Institution: Wuhan University of Technology
Tel: 86-27-87884448; Fax: 86-27-87879466
E-mail: sklwut@whut.edu.cn
Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua



УХАНЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ – ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ КИТАЙСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Об Уханьском университете технологий

Уханьский университет технологий (далее УУТ) был образован 27 мая 2000 года от бывшего Уханьского университета технологий (основан в 1948 г.), Уханьского университета транспорта (основан в 1946 г.) и Уханьского автомобильно-строительного политехнического университета (основан в 1958 г.). УУТ является одним из ведущих китайских университетов, подчиняющихся Министерству образования, и одним из университетов, входящих в государственную программу по созданию университетов мирового уровня с высокопрофессиональной подготовкой по основным специальностям. УУТ также совместно курируется Министерством образования, Министерством транспорта, Государственным океаническим управлением и Государственным управлением по науке, технологиям и национальной безопасности. В предыдущие 70 лет УУТ выпустил более 500 000 инженеров и технических специалистов, став, таким образом, крупнейшим университетом по подготовке кадров в трех областях промышленности – строительных материалах, транспорте и автомобилестроении. Помимо подготовки высокопрофессиональных специалистов для вышеуказанных областей промышленности, УУТ также достигает значительных научных и технологических результатов.

На основе длительного обучения студентов УУТ сформировал образовательную модель с отличительными особенностями: уделяя много внимания и сил высокому идеалу развития учреждения, который обладал бы всемирным уважением и признанием, университет несет идею «твердости в этике, всесторонности в образовании и развитии высокого мастерства» и следует основному принципу: «развитие студентов – это наша сущность, развитие науки – приоритет». УУТ реализует образовательную концепцию «обеспечения превосходного обучения, возвращения высококвалифицированных специалистов и создания прекрасной жизни». УУТ несет ответственность за создание учреждения, который обеспечит качественное образование с целью подготовки студентов к жизни с востребованной профессией и отличными навыками.

Университет обладает тремя основными кампусами: Мафангшан, Юдзитоу и Сауф Лейк, которые занимают, в общей сложности, площадь 267 гектаров. В настоящий момент численность штата УУТ составляет 5 508 человек, включая 3 282 штатных единицы профессорско-преподавательского состава, 1 академика Китайской академии наук, 3 академиков Китайской инженерной академии, 1 иностранного члена Российской инженерной академии, 1 члена Европейской академии наук, 1 члена Австралийской академии технологических наук и инженерного искусства и 1 члена Международной

академии керамики. Кроме того, Университет привлёк к работе 30 профессоров с мировой известностью в качестве «стратегических ученых» в области материаловедения и инженерного дела, машиностроения, информационных технологий, кораблестроения и морского строительства. В УУТ работает много академических сотрудников из национальной программы поддержки высококвалифицированных кадров, из них 28 входят в Программу рекрутинга международных экспертов (также известной как Программа тысячи специалистов), 6 – в Программу десяти тысяч специалистов, 14 – в Программу ученых Ченг Конг, 7 являются лауреатами Национального научного фонда для молодых выдающихся ученых, 3 входят в Национальную программу заслуженных преподавателей и 11 – в Национальный проект сотни, тысячи и десяти тысяч специалистов нового века.

Университет включает 24 научные школы, 4 государственных ключевых лаборатории, 8 государственных ключевых специальностей, 77 образовательных программ аспирантуры и докторантуры, 226 программ магистратуры, а также 90 программ бакалавриата. В университете 54 986 обучающихся, среди которых 36 452 студентов бакалавриата, 17 224 студентов магистратуры и аспирантов, а также 1 310 иностранных студентов. Более того, публикации по материаловедению, инженерному делу и химии занимают верхние 5% в наукометрической базе Института научной информации США (Essential Science Indicators) международного рейтинга областей знаний.

УУТ располагает 34 инновационными исследовательскими центрами международного уровня, включая две государственные ключевые лаборатории, одну государственную инженерную лабораторию, один национальный инжиниринговый исследовательский центр, а также лаборатории ведомственного или областного подчинения в сфере новых материалов и строительных материалов, транспорта и логистики, мехатроники и автомобилестроения, информационных технологий, новых видов энергии, ресурсов и технологий защиты окружающей среды, а также управления общественной безопасностью и чрезвычайными ситуациями. Вместе с тем, университет основал около 230 исследовательских центров совместно с муниципальными властями и местными предприятиями. Начиная с 2010 года, УУТ получил 14 государственных премий по науке и технологиям, заняв топовые позиции в рейтинге китайских высших учебных заведений.

УУТ установил связи для студенческого обмена и научных исследований с более, чем 190 иностранными университетами и научными институтами из США, Великобритании, Японии, Франции,

Австралии, России, Нидерландов и др., а также пригласил более 300 всемирно известных исследователей в качестве стратегических ученых, приглашенных и почетных профессоров. С 2007 года УУТ получил право основать в ведущих китайских университетах 5 базовых центров внедрения иностранных профессиональных направлений в следующих областях: перспективные технологии для синтеза и обработки материалов, перспективные технологии для высокопроизводительных кораблей, перспективные технологии для производства функциональных пленочных материалов и его использование в инженерии, ключевые технологии для транспортных средств с использованием альтернативных видов энергии и экологических строительных материалов. Кроме того, университетом были основаны: Международная совместная лаборатория перспективных технологий для синтеза и обработки материалов, База международного научно-технического сотрудничества в области экологических строительных материалов, База международного научно-технического сотрудничества в области интеллектуального кораблестроения и морской безопасности. С 2009 года УУТ создал 14 международных совместных исследовательских центров с международно признанными институтами из США, Великобритании, Италии и Нидерландов, включая ключевую лабораторию технологий новых энергоносителей и конверсии (совместно с Мичиганским университетом). В этом плане с ним активно сотрудничали Саутгемптонский университет, центр технологий высокопроизводительных кораблей, а также Совместный исследовательский центр интеллектуального кораблестроения и движения (вместе с Делфтским техническим университетом). В 2016 году в партнерстве с Университетом Уэльс Тринити Сейнт Дэвид (Великобритания) в Суонси был основан международный UWTSD Уханьский Лигонг Колледж.

В 2017 Университет вошел в такие рейтинги, как *Times Higher Education World University Rankings*, *QS Asia University Rankings*, *U.S. News Best Global Universities Rankings* and *Shanghai Ranking's Academic Ranking of World Universities*.

Обзор деятельности Международной школы материаловедения и инженерного дела

В связи с большой необходимостью реформы национальной системы высшего образования, деятельность Международной школы материаловедения и инженерного дела (далее МШМиИД) УУТ направлена на создание первоклассной инновационной площадки для подготовки высококвалифици-

цированных кадров и инновационного центра знаний материаловедения и инженерного дела.

УУТ — один из ведущих китайских университетов под управлением Министерства образования и один из университетов, приоритетно построенного в рамках государственного проекта «State 211 Project» для китайских высших учебных заведений.

С 1996 года УУТ реализовал изменения в системе подготовки кадров путем проведения плотных занятий, включая международные программы, программы магистратуры и аспирантуры. МШМиИД была основана в апреле 2014 года и утверждена Департаментом образования провинции Хубэй. В июне 2015 года МШМиИД была внесена в перечень «Сети международных образовательных центров», поддерживаемый Министерством образования КНР и Министерством международного сотрудничества. Деятельность МШМиИД посвящена разработке знаний в области материаловедения и инженерного дела за счет оптимизации высокоуровневых исследований и преподавательского состава, а также основанию инновационной системы подготовки специалистов с целью развития индустрии материалов как технологической платформы и кузницы кадров.

Специальность УУТ «Материаловедение и инженерное дело» вошла в топовые 2% в четвертом рейтинге специальностей Китая

Центр развития китайского академического образования недавно объявил результаты четвертого рейтинга специальностей Китая: специальность УУТ «Материаловедение и инженерное дело» заняла самый высокий уровень — уровень A+ (3 университета занимают этот уровень, образуя топовые 2% в Китае).

Среди оцениваемых специальностей — 4 специальности УУТ (машиностроение, транспортная инженерия, дизайн и теория марксизма) заняли уровень В+ (10–20% верхних позиций рейтинга) и 6 специальностей расположились на уровне В (20–30% верхних позиций рейтинга), а это: прикладная экономика, гражданское строительство, информационные и коммуникационные технологии, теория вычислительных машин и систем, защита окружающей среды и инженерное дело, менеджмент и инженерное дело.

По сравнению с бывшими тремя рейтингами специальностей в Китае позиции УУТ значительно улучшились, поднявшись до верхних 2% практи-





чески с нуля. Вместе с тем, число специальностей, занимающих верхние 10–20% строчек, выросло с 0 до 4, из 20–30% верхних строчек — с 4 до 6. Такие специальности, как материаловедение и инженерное дело, машиностроение, транспортная инженерия, теория марксизма и прикладная экономика, показали заметные результаты.

В связи с тем, что в 2000 году появились три школы в рамках реализации государственных крупномасштабных проектов, таких как «Государственный проект 211» и «985 Инновационная платформа для высших специальностей», значимость специальности «Материаловедение и инженерное дело» в рамках факультета, научных изысканий, подготовки инновационных кадров и международного сотрудничества значительно выросла. За последние несколько лет важность специальности и ее уровень были расширены, подняв ее с 22 места в рейтинге в 2002 году до 5 места в 2012 и до 3 места в текущем году. За 70 лет обучения по этой специальности для страны были подготовлены высококвалифицированные кадры для строительства и индустрии производства строительных материалов и получены более 100 научно-технических достижений. Все это стало историческим вкладом в развитие национальной индустрии стройматериалов, обеспечивая ее стабильный рост для занятия ведущего положения в мировом производстве строительных материалов.

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов

Государственная ключевая лаборатория перспективных технологий синтеза и обработки материалов (кратко ГКЛ) — это государственная лаборатория в области передовых материалов, основанная Государственным плановым комитетом в УУТ в 1987 г. ГКЛ находится под руководством Министерства науки и технологий КНР. В настоящий момент научный комитет ГКЛ возглавляет член Китайской академии наук профессор Гу Бинглин и нынешний директор ГКЛ профессор Эфу Дженьги.

Деятельность ГКЛ направлена на передовые достижения в материаловедении и выполнение государственных заказов в этой области. В ГКЛ занимаются созданием высококачественных композитных материалов и разработкой стратегически важных материалов с целью их использования в национальной системе обороны и развивающихся промышленности для обеспечения политики государства; ГКЛ проводит нестандартные и системные исследования мирового опыта в трансформативных технологиях и новейших материалов, а также в междисциплинарных областях, выполняя международные разработки некоторых ключевых новей-

ших материалов; ГКЛ является ведущей лабораторией по подготовке высококвалифицированных специалистов по материаловедческим специальностям и инженерному делу с научными изысканиями. ГКЛ развивает международную культуру инновационного сотрудничества, проводя совместные межгосударственные исследования для расширения сотрудничества с другими странами, влияния отечественной культуры и ее привлекательности в мире.

Фокусируясь на общих целях и задачах, ГКЛ создает и разрабатывает многокомпонентную, разномасштабную и многоуровневую теорию проектирования материалов. Она станет важным руководством для разработки технологии градиентных композитных материалов, технологии композитных сборных материалов, технологии нанокompозитов и интегрированной инновационной платформы в качестве главной опоры. Она также позволит изучать перспективные композитные материалы для улучшения военного оснащения и вооружения, материалы, способствующие рациональному использованию энергетических ресурсов для новых энергоэффективных технологий, нанокompозитные биоматериалы для медико-биологических наук, функциональные материалы для информационных технологий и трансформационно-ориентированных технологий. ГКЛ определил 5 научных направлений исследований: градиентные композиционные технологии и новые материалы, технологии композитных сборных материалов, нанокompозитные технологии и новые материалы, преобразующие технологии и передовые материалы, проектирование материалов и основы композитных материалов.

В ГКЛ работают 103 штатных научных сотрудника, 1 академик Китайской академии наук, 2 академика Китайской инженерной академии, 1 академик Бельгийской королевской академии наук и Европейской академии наук, 1 академик Международной академии керамики, 12 почетных иностранных экспертов, 1973 научных руководителей программ, 5 стипендиатов Фонда подготовки талантливой молодежи, 4 ведущих специалиста из Национальной программы десяти тысяч специалистов, 7 победителей премии Pacesetter Engineering in the New Century, 5 стипендиатов премии Ченг Конг и 18 победителей Проекта поддержки высококлассных

специалистов нового века Министерства образования. Это команда, вдохновленная инновациями и созидательным процессом. ГКЛ мотивирует молодых ученых посещать знаменитые международные университеты или исследовательские институты в целях установления сотрудничества. За последнее время лаборатория отправила более 20 молодых специалистов для участия в совместных исследованиях за границу.

ГКЛ установило взаимовыгодное сотрудничество со всемирно известными научными институтами: Мичиганским университетом, Японским агентством авиакосмических технологий, Институтом металлов университета Тохоку в Японии, Центром материаловедения Оксфордского университета в Великобритании, Научным центром композитных материалов Калифорнийского университета и Национальным институтом исследования топливных элементов в Канаде. На основе ГКЛ Министерство науки и технологий основал Международную лабораторию новых материалов и комплексных технологий, которая стала одним из первых филиалов из 33 международных совместных лабораторий в Китае. Руководство Министерства международного сотрудничества и Министерства образования учредили Базу инноваций и знаний для новых технологий создания композитных материалов и улучшенных функциональных материалов, а также для усовершенствованной технологии производства и разработки инженерных решений новых функциональных тонких пленочных материалов. ГКЛ основал совместную нанолaborаторию между УУТ и Гарвардским университетом, совместную лабораторию новых энергоносителей и технологий между УУТ и Мичиганским университетом, комплексную лабораторию разномасштабных технологий композиционных материалов между УУТ и Лабораторией улучшенной композитной керамики Оксфорда. Опираясь на указанные международные исследовательские площадки, ГКЛ приняло участие в целой серии совместных международных проектов.

На площади 25 350 кв.м. ГКЛ расположено необходимое оборудование для синтеза и обработки улучшенных материалов и для проведения структурного анализа материалов, испытаний их эксплуатационных характеристик общей стоимостью около 22 538 млн юаней.

Контактная информация

Address: 122 Luoshi Road, Hongshan District, Wuhan, Hubei, P. R. China
Postal Code: 430070
Supporting Institution: Wuhan University of Technology
Tel: 86-27-87884448; Fax: 86-27-87879466
E-mail: sklwt@whut.edu.cn
Contacts: Zhao Xiang, Zhou Lihua

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544

UDC 69.001.5

The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica

Authors:

Katarzyna Skoczylas,

Master of Engineering, Department of Building Physics and Building Materials, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology, Poland, e-mail: sk26276@zut.edu.pl;

Teresa Rucińska,

Assistant Professor, Department of Building Physics and Building Materials, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology, Poland, e-mail: Teresa.Rucinska@zut.edu.pl

Abstract: This study presents the experimental results on the effects of curing temperature and nanosilica, on the compressive strength and absorbing properties of cement mortars. Two groups of mortars were prepared, with the first containing reference samples. The second group was modified with a nanosilica admixture by 3% of the weight of cement. The mortar specimens were cured in 20°C, 10°C and 5°C constant temperature environments. Compressive strength after 12 h, 1, 2, 7 and 28 days, water absorption and capillary porosity were evaluated on a 40×40×40 mm prism. The results confirmed that a low curing temperature delays strength development in the early days of hydration and slows down the strength growth rate of mortars, with an increase in age. The incorporation of nanosilica has a positive effect in improving the mechanical properties of cement mortars cured at low temperatures. Additionally, nanosilica contributes to decreasing the porosity of the cement matrix, so that transport properties, such as open porosity and sorptivity, improve under all curing conditions.

Keywords: cold weather, curing temperature, nanosilica, cement mortars.

For citation: Katarzyna S., Rucińska T. The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 536–544. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 536–544. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Katarzyna S., Rucińska T. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Teresa.Rucinska@zut.edu.pl" rel="cc:morePermissions">Teresa.Rucinska@zut.edu.pl.

The paper has been received by editors: 12.09.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 01.10.2019.

The paper has been accepted for publication: 02.10.2019.

Влияние низких температур выдерживания на свойства цементных растворов, содержащих нанокремнезем

Авторы:

Катаржина Скочилас,

магистр инженерных наук, кафедра строительной физики и строительных материалов,
факультет гражданского строительства и архитектуры, Западноморский технологический университет, Польша,
e-mail: sk26276@zut.edu.pl;

Тереза Ручинска,

доцент, кафедра строительной физики и строительных материалов, факультет гражданского строительства
и архитектуры, Западноморский технологический университет, Польша, e-mail: Teresa.Rucinska@zut.edu.pl

Резюме: В исследовании представлены результаты эксперимента по определению влияния температуры выдерживания и нанокремнезема на компрессионную прочность и на впитывающие свойства цементных растворов. Были подготовлены две группы растворов, с контрольными образцами в первой. Вторая группа была модифицирована добавкой нанокремнезема в количестве 3% от массы цемента. Образцы растворов выдерживались при температуре 20°C, 10°C и 5°C. Прочность на сжатие после 12 часов, 1, 2, 7 и 28 дней, водопоглощение и капиллярная пористость определялась на балочке 40×40×40 мм. Результаты подтвердили, что низкие температуры выдерживания задерживают нарастание прочности на ранних стадиях гидратации и замедляют скорость твердения в растворах с увеличением срока выдерживания. Введение нанокремнезема способствует улучшению механических свойств цементных растворов, выдержанных при низких температурах. Более того, нанокремнезем позволяет снизить пористость цементной матрицы так, что переносные свойства – открытая пористость и сорбционная способность – улучшаются при всех условиях выдерживания.

Ключевые слова: холодная погода, температура выдерживания, нанокремнезем, цементные растворы.

Для цитирования: Катаржина С., Ручинска Т. Влияние низких температур выдерживания на свойства цементных растворов, содержащих нанокремнезем // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 536–544. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544.

Машиночитаемая информация о СС-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

The effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 536–544. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-536-544" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Katarzyna S., Rucińska T. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Teresa.Rucinska@zut.edu.pl" rel="cc:morePermissions">Teresa.Rucinska@zut.edu.pl.

Статья поступила в редакцию: 12.09.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 01.10.2019.

Статья принята к публикации: 02.10.2019.

1. INTRODUCTION

In general, the properties of mortars and concretes are determined under controlled laboratory conditions, where the curing temperature is usually fixed at around 20°C. In practice, buildings around the world are built in various conditions with temperatures ranging from the negative to very high ones. Dynamic developments in the construction industry and the implementation of modern reinforced concrete structures, requires the use of advanced concreting technologies. During concreting at negative temperatures it is important to protect the fresh concrete mix from freezing, so that chemical reactions between cement and water, which have a decisive impact on the strength of the concrete, can take place. According to the American Concrete Institute [1] cold weather is defined as a period when the average daily air temperature drops below 5°C for more than three successive days and stays below 10°C for more than one-half of any 24 hour period. Cold weather conditions can have adverse effects on the construction process and the construction elements must therefore be properly secured. As such, compliance with cold weather requirements is recommended. Cold weather can affect masonry, mortar, grout during construction and reinforced concrete constructions. Properly designed construction elements must be resistant to low temperatures during periods of cold weather. Concrete mix hardening tests have shown that at temperatures below 10°C, concrete setting slows down rapidly. When the temperature drops to 0°C, the hydration process practically disappears [2]. Water subjected to temperature changes, reaches its maximum density at 4°C, with the fastest decrease in density being observed when the physical state changes at 0°C [3]. When concrete freezes prior to setting, the mixing water contained within also freezes, thus increasing volume. The result is a lack in the necessary water for the hydration process, thus delaying hydration; moreover, additional pores are formed after thawing. When concrete freezes during the setting process, the resulting ice crystals destroy new leaven bonds. Furthermore, the freezing of concrete after hardening and setting damages its microstructure, as a result of an increase in the volume of free water. An increase in temperature affects the hydration process by increasing reaction rates, thus resulting in higher early concrete strength. However, excessively accelerated hydration can result in the formation of a more porous microstructure, which can in turn negatively affect long-term strength [2]. It has been shown that there is an optimal temperature of 13°C, at which maximum strength can be achieved for a given concrete age [4].

To improve the properties of concrete and mortars in cold weather, various additives and admixtures are used. Recently, nanomaterials have received significant attention from researchers and industry, in regard to their potential as concrete admixtures [5]. This is evidenced by

the rapid increase in the amount of patents as well as by the availability of the first commercial products using this technology [6, 7]. Among nanomaterials, nanosilica has gathered particular attention. Silica nanoparticles (NS) have a very small size; the minimum grain size of concrete components is respectively: sand – 1 500 000 nm, quartz flour – 30 000 nm, silica dust – 150 nm, precipitated silica – 50 nm, nanosilica – 5 nm [8]. Due to its much smaller size in relation to cement grains, nanoparticles are the “filler” created in the process of the hydration of voids. Nanosilica fills the pores between the calcium-silicate-hydrate (C–S–H) gel particles, thickens microstructure and thus improves the mechanical properties of the structure formed [9, 10]. Silica nanoparticles also exhibit pozzolanic properties; after the incorporation of pozzolanic material in concrete or mortar, the total calcium hydroxide (CH) content decreases, with additional amounts of hydrated calcium silicates being formed in its place. As a result, the structure of the hardened material becomes more compact, leading to increased strength and durability [2]. Studies have showed that the addition of nanosilica particles to cement paste improves the composite cement microstructure [11]. In addition, NS exhibits a nucleating effect, which significantly accelerates the hydration process of cement [12]. It has been reported that even small dosages of NS can noticeably affect cement hydration [13]. Nanosilica has the largest specific surface at the smallest particle size [14] and small NS nanoparticles considerably reduce the flow ability of the cementitious matrix [15]. Studies on the viscosity of cement paste and mortar containing nanosilica, have proven that more water is required to maintain workability at a constant level [16]. Exceeding the NS content in a cement mixture can lead to undesired composite compaction and the creation of NS agglomerations, thus leading to a deterioration in the mechanical and durability performance of a composite. The effects of NS on the performance of cement-based composites has already been reviewed extensively [17, 18].

Up to date and extensive research has been undertaken in regard to the effect of nanosilica on the freeze-thaw resistance of specimens [19, 20]. However, these measurements were performed on specimens cured in standardized curing conditions. Additionally, while many researchers have studied the effects of elevated curing temperatures on the properties of composites containing nanosilica [21, 22], the effects of low temperature curing on the mechanical and durability properties of NS-modified remain overlooked. This work is therefore aimed at characterizing the effects of low curing temperatures on the strength development and transport properties of cement mortars. In this study, plain (control) and NS-modified specimens were cured at the low temperatures of 5°C and 10°C, with their properties compared with a specimen cured in standardized laboratory conditions of 20°C.

2. MAIN PART

MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

The cement mortars were prepared using rapidly hardening Portland cement – CEM I 42.5R (conforming EN 197-1), standardized ISO quartz sand (EN 196-1) with particle size < 2 mm and tap water. Nanosilica (NS) suspension containing 50 wt% of solid mass was also used, where the liquid phase of nanosilica suspension was used as a part of the mixing water. A scanning electron microscope (SEM) micrograph of the NS used is presented in Figure 1.

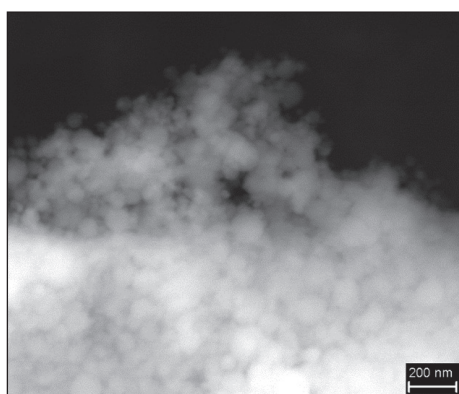


Fig. 1. SEM micrograph of nanosilica

2.2 Mixture composition and mortar preparation

Two groups of mortars were prepared: plain cement mortar (C) and NS-modified cement mortar containing 3% of NS admixture, by weight of cement. Cement mortars were prepared according to EN 197-1, with a cement:water:aggregate mass ratio equal to 1:0.5:3. The amount of mixing water was proportionally reduced to the amount of water contained in the nanosilica suspension. The mixture compositions are presented in the table below:

Table.

Mixture compositions

Components content	Sample designation	
	C	NS
Cement	450	450
ISO sand	1350	1350
Water	225	211,5
Nanosilica	—	27

[g]

The specimens were prepared conforming to PN-EN 196-1, with the use of a standardized automatic mortar mixer. After mixing, molds were poured with fresh mortar and mechanically compacted. After being formed, the mortar specimens were cured in 20°C, 10°C and 5°C constant temperature environments. To obtain low temperature (5°C and 10°C) CHL2 and POL-EKO laboratory refrigerators were used. The temperature of 20°C was set in the climate chamber. The samples were named as follows: C5, C10, C20 for the control samples and NS5, NS10, NS20, for the samples with nanosilica. The digit next to the specimen name indicates the curing temperature.

2.3 Test methods

The samples were divided into 3 groups and kept at the appropriate temperatures of 20°C, 10°C and 5°C, for up to 28 days of curing. Compressive strength was determined with 40×40×40 mm³ cubes after 12 h, 1, 2, 7 and 28 days of curing, according to PN-EN 1015-11. Three cubes were used for each testing time, with the average being taken. Water absorption was determined after 28 days of curing on 3 40×40×160 mm³ prisms, according to ISO 52617. Water absorption by partial immersion was determined by measuring the change in mass of the sample, the bottom of which had been in contact with water for a certain period of time. After 28 days the samples were removed from the refrigerators and aged for two weeks in natural conditions (20°C±2°C with relative humidity RH = 50±5%). The samples were then wrapped with transparent tape and put in a box with water; mass was measured after 20 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h and 24 h. Capillary porosity was determined using the water displacement method. To determine the dry mass, three samples of each case were oven-dried at 105°C until reaching a constant mass.

3. RESULTS

3.1 Compressive strength

Figure 2 present compressive strength after 12 h and 1, 2, 7, 28 days of curing. The strength growth rate of the mortars slowed down with an increase in age, because of the decrease in curing temperature. The curve inclination angle, in relation to the axis, is lower at lower temperatures. Compressive strength in the period from 7 to 28 days increased by only 1.5 MPa, 4.9 MPa and 5.9 MPa for the control (C) samples, after curing at 5°C, 10°C and 20°C, respectively. A comparable trend was observed with the NS specimens.

It can be seen that from the beginning of the hydration process, specimens containing NS exhibited a higher compressive strength than the corresponding reference specimens. At an age of 1 d, the strength of the reference mortars at temperatures of 5°C and 10°C reached

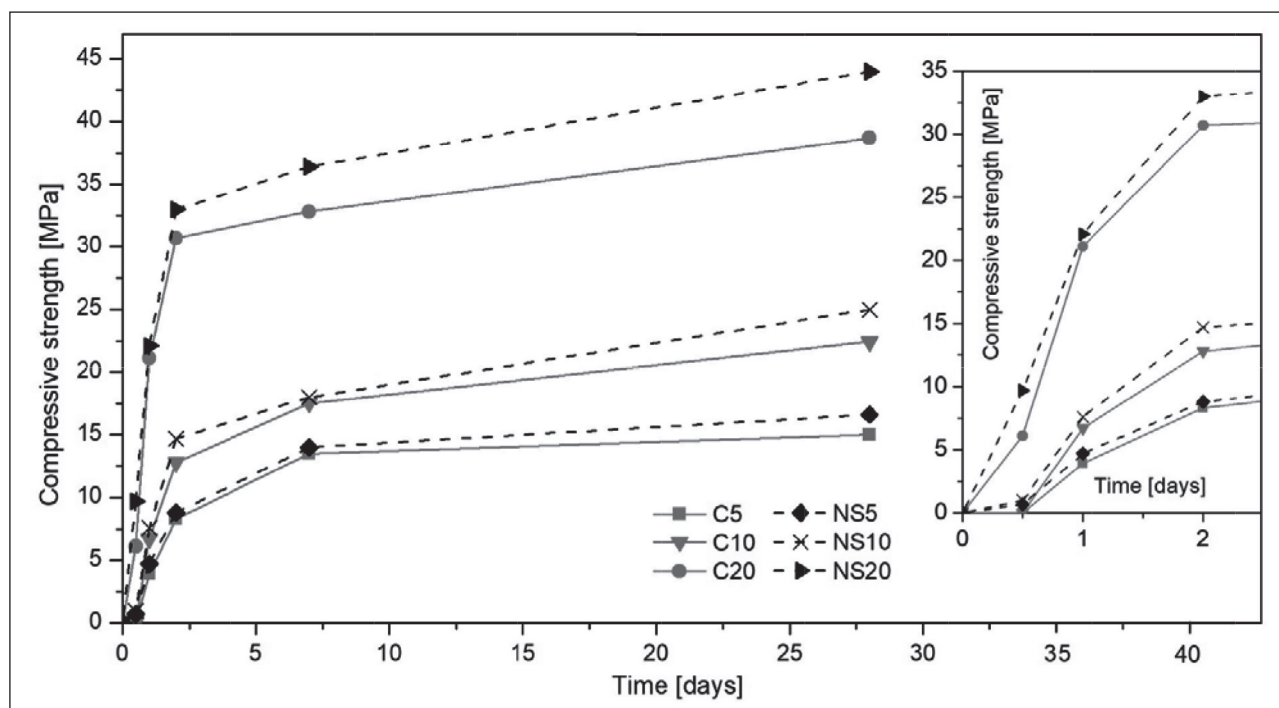


Fig. 2. Compressive strength of mortars after 12 h and 1, 2, 7, 28 days of curing

18.2% and 31.7% (respectively), compared to the compressive strength of samples curing at the maintenance temperature of 20°C. At an age of 2 d these values were 27.10% and 41.9% respectively, when cured at 5°C and 10°C. After 7 days, the strength of the test mortars, under curing conditions of 5°C and 10°C, reached 41.2% and 53.3% (respectively), compared to the compressive strength of samples curing at the maintenance tempera-

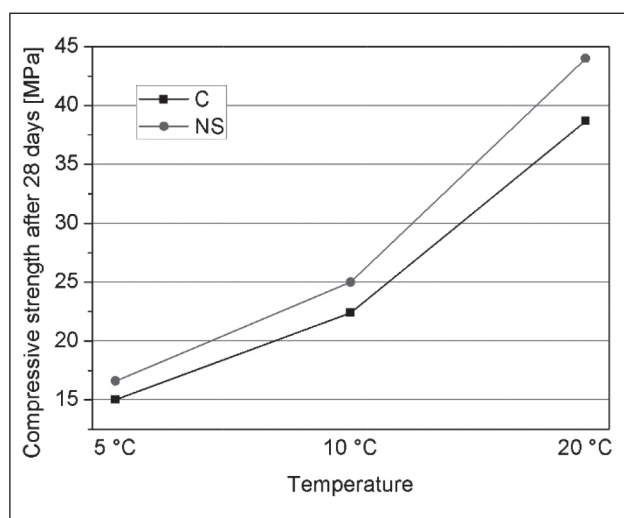


Fig. 3. The effects of curing at 5°C, 10°C and 20°C on compressive strength, after 28 days

ture of 20°C. The values presented were similar for mortars with 3% nanosilica admixture; the difference being that in this case it was also possible to test the 12-hour strength. Mortar cured at 5°C and 10°C reached 7.7% and 10.6%, as compared to the compressive strength of samples curing at the maintenance temperature of 20°C. The detailed results of the compressive strength tests, after 28 days of curing, are shown in Figure 3. Curing the samples at a temperature of 10°C, instead of at 20°C, resulted in a decrease in 28 d compressive strength by 42.2%. In the case of samples cured at 5°C, instead of at 20°C, a 61.3% decrease in compressive strength was observed. A similar tendency has been reported in the literature [23], where the 28 day compressive strength decreased by approximately 25% when the concrete slab was cured at 0°C, instead of at 20°C.

Figures 4 and 5 show the ratios of tested mortar strengths at certain ages, in relation to 28 day strength. Control mortar samples (C) without the addition of NS, were not hard enough after 12 h to test for compressive strength. Samples NS5 and NS10, cured at 5°C and 10°C, reached approximately 4% of their 28-day compressive strength, while C20 and NS20 reached 16% and 22% of their 28-day strength, respectively. It can be seen that after the first day, samples C5 and NS5 reached only 26–28% of their 28-day compressive strength. For C10 and NS10, this value was slightly higher, reaching around 30%. Samples C20 and NS20, cured under standard curing conditions, reached 55% and 50% of their 28-day compressive strength, re-

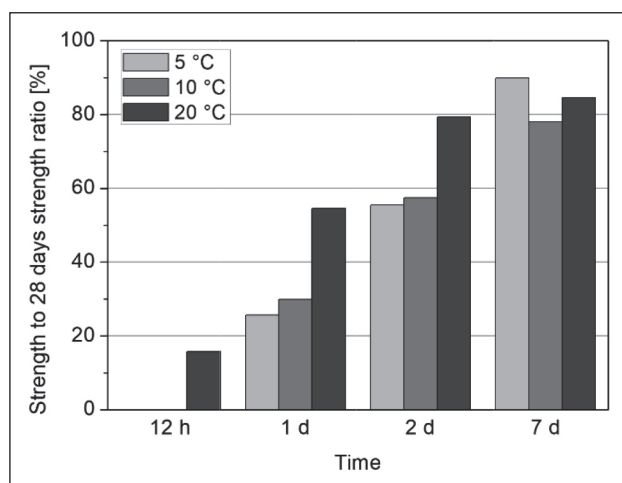


Fig. 4. Compressive strength to strength for 28 days ratio, control samples

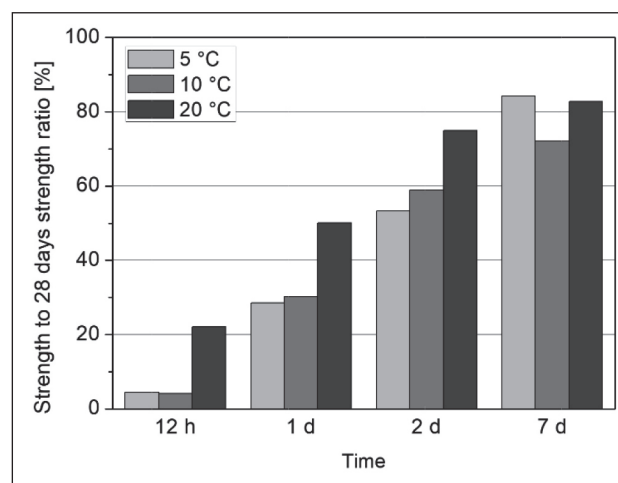


Fig. 5. Compressive strength to strength for 28 days ratio, NS samples

spectively. On the second day of hydration, both mortars cured at 5°C and 10°C reached 53–59% of their 28-day strength. In comparison, mortar samples C20 and NS20 reached 79% and 75% of their 28-day strength, respectively. On day 7, the 28 day strength achieved at different temperatures begins to equalize. This means that low temperatures (5°C or 10°C) delay strength development in the early days of hydration. It can also be seen that the incorporation of nanosilica had a positive effect on the mechanical properties of cement mortars, by compacting their structure and improving the bond between the aggregate and the cement matrix. Various studies have shown that the incorporation of NS in a mixture accelerates cement hydration and composite hardening; resulting in higher early strength [7, 19, 24]. This was also reflected in this study, through the possibility of determining the 12-hour compressive strength of NS-modified specimens, after curing at 5°C and 10°C. Samples without the addition of nanosilica fell apart during the press test. In the case of samples cured at 20°C, when 3% of NS was incorporated into the mixture, the compressive strength increased by 59.2% in comparison to the corresponding samples, after 12 h of curing. A significant influence of the admixture was observed in the case of samples cured at 5°C, with a strength improvement of 22.9% after 1 day of curing, in comparison to the reference mortar. In the next days, the compressive strength increased by 6.2%, 3.4% and 10.5%, respectively after 2, 7 and 28 days of curing, in comparison to the reference mortar. In the case of samples cured at 10°C, the strength improvement was 13.1%, 14.8%, 3.4% and 11.8%, respectively, after 1, 2, 7 and 28 days of curing, in comparison to the reference mortar. In the case of samples cured at 20°C, the incorporation of nanosilica caused a compressive strength increased by 13.7%, in comparison to the corresponding samples, after 28 days of curing.

3.2 Water absorption

Figures 4 and 5 show the water absorption of the tested mortars. It can be seen that the water absorption rates in the first minutes of testing were significantly different and highly dependent on the curing conditions and the presence of NS. As the curing temperature increased, water absorption decreased. After 20 min of testing, the control samples curing at a temperature of 10°C, instead of 20°C, showed a more than double increase in the water absorption rate. In the case of control samples cured at 5°C, instead of at 20°C, the increase in the water absorption rate was over 3 times higher. This dependence decreased as time passed. After 24 h of testing, the water absorption rates of samples C10 and C5 were higher by 18.7% and 32.1%, respectively, in comparison with mortar C20. A Comparable trend was observed with the NS specimens. After the first measurement, the water absorption rate of samples NS10 and NS5 was higher by 119.7% and 86%, respectively, in comparison with mortar NS20. The water absorption ratio increased slowly with time, approaching the water absorption ratio of samples cured at lower temperatures. In the case of samples NS10 and NS5, the water absorption rate improvements after 24 h of curing were 27.4% and 37.4%, respectively, in comparison with mortar NS20. Nanosilica should decrease water absorption because of its pore-filling effect and its ability to cause an improvement in microstructure. The effect of NS was present only in the first hours of testing. In the case of NS samples cured at 5°C and 10°C, a decrease in the water absorption rate, by 20% and 6.7% respectively, was observed in comparison to the control samples. A different situation was observed in the case of samples cured at 20°C. For sample NS20, the water absorption rate improvement was 47%, in comparison to

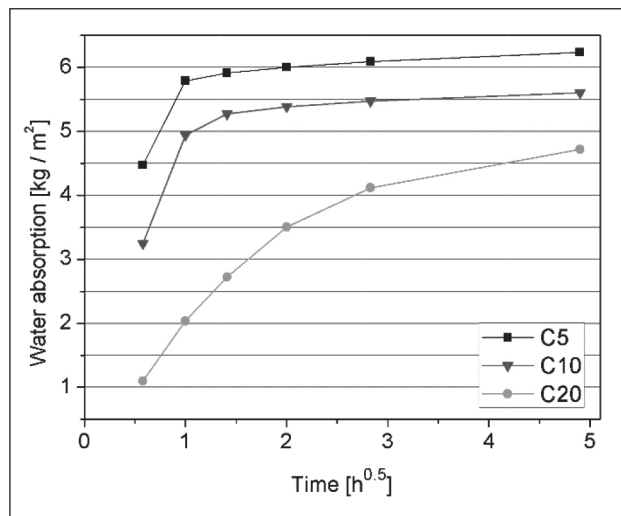


Fig. 6. Water absorption, C samples

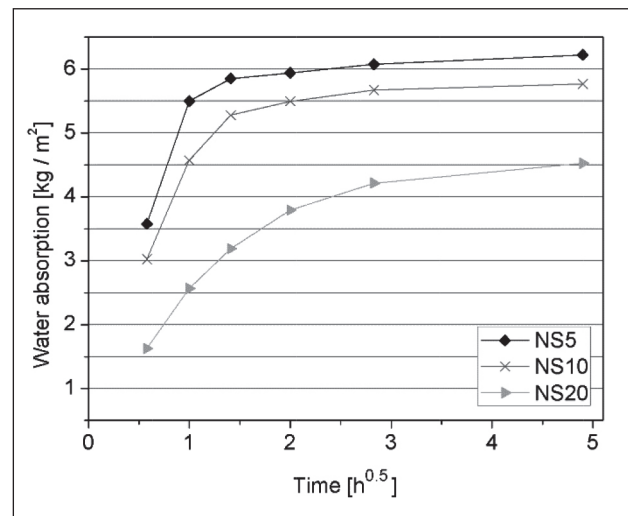


Fig. 7. Water absorption, NS samples

sample C20. The values for the C and NS samples were similar after just 2 hours of testing. However, the final (24 h) sorptivity of NS20 was 4% lower in comparison to the C20 samples.

3.3 Capillary porosity

Figure 2 presents the capillary porosity of the cement mortars. Capillary porosity decreased as temperature increased. It can be seen that sample C5 had the highest capillary porosity values, with the rate of improvement being 11.5%, in comparison to mortar C20. In the case of the NS mortars, the capillary porosity rate of sample NS5 was 7.2% higher than that of mortar NS20. There were slight differences in the capillary porosity of the mor-

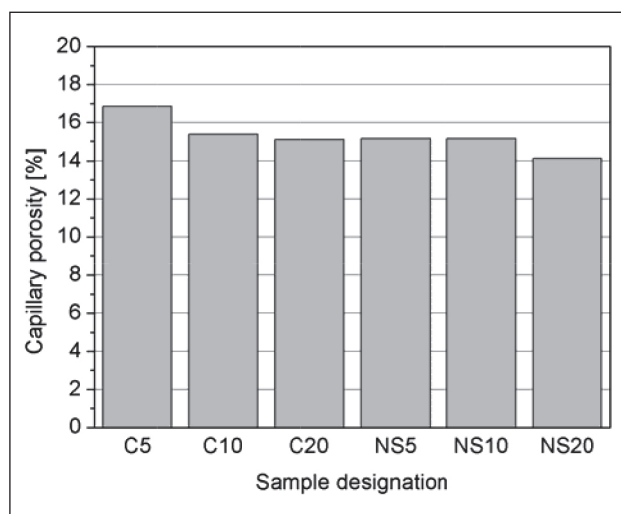


Fig. 8. Capillary porosity of cement mortars

tars, depending on whether nanosilica was present. These results support the water absorption findings presented in the section above. Nanosilica refines the microstructure of cementitious composites, thus altering the pore structure of the cement matrix. Moreover, it makes the pore structure of the paste more homogeneous, by subdividing larger pores into smaller ones [25].

4. CONCLUSION

This paper has presented the effects of low curing temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica. Based on the experimental results, we conclude that:

- Low curing temperature delays strength development in the early days of hydration and slows down the strength growth rate of the mortars, with an increase of age.
- Curing samples at temperatures of 10°C and 5°C was associated with a 42.2% and 61.3% loss of 28 day compressive strength, respectively.
- The incorporation of nanosilica has a positive effect on the mechanical properties of cement mortars, by accelerating the hydration process as well as refining microstructure. This was reflected through the possibility of determining the 12-hour compressive strength of NS-modified specimens, after curing at 5°C and 10°C.
- Water absorption rates were highly dependent on curing conditions. Water absorption decreased as curing temperature increased.
- The incorporation of nanosilica contributes to a decrease in the porosity of the cement matrix; transport properties, such as open porosity as well as sorptivity, were thus improved in all curing conditions.

REFERENCES

1. A ACI 306 Committee. Guide to cold weather concreting. ACI 306R-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2010, 26 p.
2. Neville A.M., Properties of concrete, Longman, 1995.
3. Conciatori D., Brühwiler E. Water adsorption in concrete at low temperature. 2nd International RILEM, Quebec City, Canada, September 11–15, vol. CD, 2006.
4. Klieger P. Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength. Portland Cement Association, 1958.
5. Kropyvnytska T., Rucinska T., Ivashchyshyn H., Kotiv R., Development of Eco-Efficient Composite Cements with High Early Strength. CEE 2019: Proceedings of CEE, 2019, pp. 211–218.
6. Ivanov LA., Borisova O.N., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part I, Nanobuild №1-2019. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-91-101.
7. Ivanov LA., Demenev A.V., Muminova S.R. The inventions in nanotechnologies as practical solutions. Part II, Nanobuild №2-2019. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-175-185.
8. Czarnecki L. Nanotechnologia w budownictwie. Przegląd budowlany 1/2011, 2011, pp. 40–53.
9. Aggarwal P., Singh R.P., Aggarwal Y. Use of nano-silica in cement based materials—A review. Cogent Eng. 2015;2:1078018. DOI: dx.doi.org/10.1080/23311916.2015.1078018.
10. Potapov, V.V., Efimenko, Y.V., Gorev, D.S. Modification of concrete by hydrothermal nanosilica. Nanotehnologii v stroitel'stve. Nanotechnologies in Construction 2019, 11(3), pp. 248–265, DOI:10.15828/2075-8545-2019-11-3-248-265.
11. Krivenko P.V., Sanytsky M., Kropyvnytska T., The Effect of Nanosilica on the Early Strength of Alkali-Activated Portland Composite Cements. Solid State Phenomena (Volume 296), pp. 21–26.
12. Sikora P., Cendrowski K., Elrahman M.A., Chung S.Y., Mijowska E., Stephan D. The effects of seawater on the hydration, microstructure and strength development of Portland cement pastes incorporating colloidal silica. Applied Nanoscience, DOI: doi.org/10.1007/s13204-019-00993-8, 2019.
13. Sikora P., Elrahman M.A., Chung S.Y., Cendrowski K., Mijowska E., Stephan D. Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core-shell structures, exposed to elevated temperature. Cement and Concrete Composites 95 (2019) pp. 193–204. DOI: doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.11.006.
14. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of grapheme. Manchester Centre for Mesoscience and Nanotechnology, University of Manchester, 2007.
15. Zabihi N., Ozkul M.H. The fresh properties of nano silica incorporating polymer-modified cement pastes, Construction and Building Materials 168, 2018, pp. 570–579.
16. Senff L., Labrincha J.A., Ferreira João A.M., Hotza D., Repettee W.L. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. Construction and Building Materials, vol. 23, no. 7, 2009, pp. 2487–2491.
17. Sikora P., Elrahman M.A., Stephan D. The Influence of Nanomaterials on the Thermal Resistance of Cement-Based Composites—A Review. Nanomaterials 2018, 8, 465; DOI: doi:10.3390/nano8070465.
18. Shah S.P., Hou P., Konsta-Gdoutos M.S. Nano-modification of cementitious material: Toward a stronger and durable concrete. J. Sustain. Cem.-Based Mater. 2015, 5, pp. 1–22.
19. Skoczylas K., Rucińska T. Strength and durability of cement mortars containing nanosilica and waste glass fine aggregate. 206 CWB-3/2018, 2018, pp. 206–215.
20. Behfarnia K., Salemi N. The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete. Constr. Build. Mater. 2013, 48, pp. 580–584.
21. Dai J., Wang Q., Xie C., Xie Z., Tian X., Lou X., Guo H. Effect of Curing Temperature on Activity Index of Silica Fume, Materials Science and Engineering, Volume 381, conference 1, 2018, DOI: doi:10.1088/1757-899X/381/1/012096.
22. Jun L., Yao L., Yuanquan Y., Yunpeng C. Effect of Low Temperature on Hydration Performance of the Complex Binder of Silica Fume-Portland Cement J. Wuhan Univ. Tech. 2014, pp. 175–81.
23. Nassif A.Y., Petrou M.F. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete. Construction and Building Materials 44, 2013, pp. 161–167.
24. Chen Y., Deng Y-f., Li M-q. Influence of Nano-SiO₂ on the Consistency, Setting Time, Early-Age Strength, and Shrinkage of Composite Cement. Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2016, Article ID 5283706, 8 pages. DOI: dx.doi.org/10.1155/2016/5283706.
25. Sikora P., Augustyniak A., Horszczaruk E., Rucinska T., Nawrotek P., Mijowska E. Characterization of Mechanical and Bactericidal Properties of Cement Mortars Containing Waste Glass Aggregate and Nanomaterials. Materials, 9(8)701, 2016, DOI: doi/10.3390/ma9080701.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Katarzyna Skoczylas, Master of Engineering, Department of Building Physics and Building Materials, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland, e-mail: sk26276@zut.edu.pl;

Teresa Rucińska, Assistant Professor, Department of Building Physics and Building Materials, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland, e-mail: Teresa.Rucinska@zut.edu.pl

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Катаржина Скочилас, магистр инженерных наук, кафедра строительной физики и строительных материалов, факультет гражданского строительства и архитектуры, Западнопоморский технологический университет, Щецин, Польша, e-mail: sk26276@zut.edu.pl;

Тереза Ручинска, доцент, кафедра строительной физики и строительных материалов, факультет гражданского строительства и архитектуры, Западнопоморский технологический университет, Щецин, Польша, e-mail: Teresa.Rucinska@zut.edu.pl

CONTACTS / КОНТАКТЫ

e-mail: sk26276@zut.edu.pl; Teresa.Rucinska@zut.edu.pl

The Electronic Edition

«NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» NANOBUILD.RU

Electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru was established in 2009. The main aim of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» Nanobuild.ru is to provide information support for the process of invention and application of science intensive technologies (mostly nanotechnological products) in construction, communal and housing services, joint areas (industry, power et al.).

Every issue of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» contains the information about advanced materials and technologies which are already in use or are about to appear at the market in the near future. That is of great interest for many specialists.

Therefore the authors and the edition's readers are:

- students, lecturers, post-graduates and people working for doctor's degree;
- scientists and specialists of research institutes and nanotechnological centers;
- heads and specialists of the institutions, organizations and factories from the area of construction and housing and communal services;
- scientists and specialists of the industries which are adjacent to construction;
- managers and experts of the enterprises that manufacture nanoindustrial products.

One of the important quality indicators for journal is its correspondence to international norms and as a result inclusion to international citation systems (data bases).

The electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» has been included in: CA(pt) (USA); DOAJ (Sweden); EBSCO Publishing (USA); ESCI Web of Science (USA); EZB (Germany); OAJI (USA); CrossRef (USA); ISSN 2075-8545 (online) (France); Readera (Russia); ResearchBib (Japan); ResearchGate (USA); Scientific Electronic Library (Russia); ProQuest (USA); Ulrich's Periodicals Directory (USA) et al.

Each paper is assigned UDC, DOI, HTML-code. The papers are published in English and Russian.

The editors follow the politics of «open access» for the published materials. To provide maximal access to materials all issues are published at the edition's website http://nanobuild.ru/en_EN/; the papers (information about them) is added to citation systems (data bases).

That allows scientists and specialists all over the world to study journal's materials and to use them in their work, which includes citation.

Distribution of the journal:

1. Every issue of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction» is published in free access at the website http://nanobuild.ru/en_EN/
2. The papers and/or the information about them are published in citation systems (databases): EBSCO Publishing (USA), ESCI Web of Science (USA), ResearchBib (Япония), CrossRef (USA), Scientific Electronic Library (Russia), DOAJ (Sweden) etc.
3. The information about new issue which can be viewed and downloaded is sent to companies, research and nanotechnology centers, authors, scientists and specialists all over the world (in total 5000 addresses).
4. Information about published issue is placed at the partners' internet-sources: <http://daaam.info>; <http://www.rilem.org>, <http://ama.com.az>, <http://isit.si/activities/events-news>, <http://info-iae.ru>, <http://www.nanonewsnet.ru>, <http://www.rusnanonet.ru>; <http://www.rae-info.ru> et al.

You can find all issues and requirements to the published materials on the official website http://nanobuild.ru/en_EN/.

If you have any questions, please contact us by e-mail: info@nanobuild.ru

We hope for effective and mutual beneficial cooperation.

The editors of the electronic edition

«Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»



Электронное издание

«НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ»

NANOBUILD.RU

Электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru было создано в 2009 году. Основной целью электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» Nanobuild.ru является информационное обеспечение процесса создания и внедрения наукоёмких технологий (прежде всего – нанотехнологической продукции) в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства, смежных отраслей (промышленности, энергетики и др.).

В каждом номере электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» публикуется информация о передовых материалах и технологиях, которые уже используются или должны появиться в ближайшее время, а это вызывает большой интерес у специалистов.

Поэтому авторами и читателями издания являются:

- студенты, преподаватели, аспиранты и докторанты вузов;
- ученые и специалисты научно-исследовательских институтов и нанотехнологических центров;
- руководители и специалисты учреждений, организаций и предприятий строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства;
- ученые и специалисты смежных со строительством отраслей;
- руководители и эксперты фирм-производителей продукции наноиндустрии.

Одним из важнейших показателей качества журнала является соответствие его международным нормам и, как следствие, включение в международные системы цитирования (базы данных).

Интернет-журнал «Нанотехнологии в строительстве» включен в Перечень ВАК РФ, системы цитирования (базы данных): CA(pt) (США); DOAJ (Швеция); EBSCO Publishing (США); ESCI Web of Science (США); EZB (Германия); OAJI (США); CrossRef (США); ISSN 2075-8545 (online) (Франция); Научная электронная библиотека (Россия); ResearchBib (Япония); Readera (Россия); ProQuest (США); ResearchGate (США); Ulrich's Periodicals Directory (США) и другие.

Каждой научной статье присваиваются УДК, DOI, а также HTML-код. Статьи издаются на русском и английском языках.

Редакция издания придерживается политики «открытого доступа» к публикуемым материалам. В целях максимальной доступности материалов все номера размещены на сайте издания <http://Nanobuild.ru>; статьи (информация о них) размещается в системах цитирования (базах данных).

Это позволяет ученым и специалистам во всем мире свободно знакомиться с материалами журнала и использовать их в своей деятельности, в т.ч. цитировать в своих статьях.

Распространение журнала:

1. Каждый выпуск электронного издания «Нанотехнологии в строительстве» размещается в открытом доступе на портале <http://nanobuild.ru>.
2. Статьи и/или информация о них размещаются в системах цитирования (базах данных): EBSCO Publishing (США), ESCI Web of Science (США), ResearchBib (Япония), CrossRef (США), Научная электронная библиотека (Россия), DOAJ (Швеция), Readera (Россия) и др.
3. Информация о каждом новом номере журнала, с возможностью ознакомиться (скачать) номер, высылается в компании, научно-исследовательские и нанотехнологические центры, авторам, ученым и специалистам по всему миру (всего 5000 адресов).
4. Информация о вышедшем номере размещается на интернет-ресурсах партнеров: <http://daaam.info>, <http://ama.com.az>, <http://isit.si/activities/events-news>, <http://info-iae.ru>, <http://www.nanonewsnet.ru>, <http://www.rusnanonet.ru>, <http://www.info-rae.ru> и др.

Тематика статей, а также требования к публикуемым материалам приведены в каждом номере журнала и на сайте <http://nanobuild.ru>.

По всем вопросам просим обращаться по e-mail: [info@ nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru)

Надеемся на плодотворное и взаимовыгодное сотрудничество.

Редакция электронного издания

«Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»



DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560

UDC 666.914: 691.5

Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites

Authors:

Rauf M. Khalikov,

Associate Professor, Building Constructions Department, Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; rauf_khalikov@mail.ru;

Ekaterina A. Sinitsina,

Assistant, Building Constructions Department, Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; sinitsina.katy@yandex.ru;

Elena I. Silantyeva,

Master's student, Building Constructions Department, Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; silanteva.elena.ufa@gmail.com

Alexander N. Pudovkin.

Associate Professor, Department of Production of Building Materials, Kumertau Branch of Orenburg State University; Kumertau, Bashkortostan Republic, Russia; 11pk@rambler.ru

Igor V. Nedoseko,

Professor, Building Constructions Department, Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Bashkortostan Republic, Russia; nedoseko1964@mail.ru

Abstract: The processes of controlled hardening of nanomineral gypsum binders and the formation of microstructure that allow obtaining gypsum concrete with specified technological characteristics are analyzed. Innovative approaches to the regulation of strength and water resistance of gypsum nanobinders, the main directions of increasing their durability in concretes and mortars, building constructions and products are considered. Controlled hardening nanogypsum binders is a promising 3-D additive technology.

The mechanism of hardening of gypsum nanocomposites based on calcium sulfate dihydrate and semihydrate is proposed. The kinetics of the process of hydration and setting of nanobinders depending on the content of the components is studied. The increase in strength in the process of hardening of pressed gypsum nanobinders is determined by the content of dihydrate and is accompanied by an increase in the size of needle and plate microcrystals with a thickness of less than 100 nm.

Keywords: gypsum nanobinder, hardening, structure formation, semi-dry pressing, water resistance of gypsum concrete.

For citation: Khalikov R.M., Sinitsina E.A., Silantyeva E.I., Pudovkin A.N., Nedoseko I.V. Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2019, Vol. 11, no. 5. pp. 549–560. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>”
Modifying intensification of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites <a xmlns:cc=“http://creativecommons.org/ns#” href=“Nanotehnologii v stroitel’stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 549-560. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560” property=“cc:attributionName” rel=“cc:attributionURL”>Khalikov R.M., Sinitina E.A., Silant’eva E.I., Pudovkin A.N., Nedoseko I.V. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
Based on a work at <a xmlns:dct=“http://purl.org/dc/terms/” href=“http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/” rel=“dct:source”>http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc=“http://creativecommons.org/ns#” href=“rauf_khalikov@mail.ru” rel=“cc:morePermissions”>rauf_khalikov@mail.ru.

The paper has been received by editors: 10.06.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 28.08.2019.

The paper has been accepted for publication: 09.09.2019.

Модифицирующее усиление твердения прессованных строительных гипсовых нанокompозитов

Авторы:

Халиков Рауф Музагитович,

доцент каф. «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, rauf_khalikov@mail.ru;

Синицина Екатерина Александровна,

ассистент каф. «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, sinitsina.katy@yandex.ru;

Силантьева Елена Игоревна,

магистрант каф. «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, silanteva.elena.ufa@gmail.com;

Пудовкин Александр Николаевич,

доцент каф. «Производство строительных материалов», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет, Курмтавский филиал»; г.Курмтау, Республика Башкортостан, Россия. 11pk@rambler.ru;

Недосеко Игорь Вадимович,

профессор каф. «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, nedoseko1964@mail.ru

Резюме: Проанализированы процессы регулируемого твердения наноминеральных гипсовых вяжущих материалов и формирования микроструктуры, позволяющие получать гипсобетоны с востребованными технологическими характеристиками. Рассмотрены инновационные подходы регулирования набора прочности и водоустойчивости гипсовых нановяжущих, основные направления повышения их долговечности в бетонах и растворах, строительных конструкциях и изделиях. Контролируемое твердение наногипсовых вяжущих считается перспективным в 3-D аддитивных технологиях.

Предложен механизм твердения гипсовых нанокомпозитов на основе дигидрата и полуидриата сульфата кальция. Изучена кинетика процесса гидратации и схватывания нановязких в зависимости от содержания компонентов. Нарастание прочности в процессе твердения прессованных гипсовых нановязких определяется содержанием дигидрата и сопровождается увеличением размеров игольчатых и пластинчатых микрокристаллов с толщиной менее 100 нм.

Ключевые слова: гипсовые нановязущие, твердение, структурообразование, полусухое прессование, водостойкость гипсобетонов.

Для цитирования: Халиков Р.М., Синицина Е.А., Силантьева Е.И., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В. Модифицирующее усиление твердения прессованных строительных гипсовых нанокомпозитов // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 549–560. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560.

Машиночитаемая информация о СС-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>
Modifying information of the hardening of extruded construction gypsum nanocomposites by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 549-560. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Khalikov R.M., Sinitina E.A., Silant'yeva E.I., Pudovkin A.N., Nedoseko L.V. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:rauf_khalikov@mail.ru" rel="cc:morePermissions">rauf_khalikov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию: 10.06.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 28.08.2019.

Статья принята к публикации: 09.09.2019.

INTRODUCTION

Building materials based on clinker-free gypsum binders are characterized by low energy consumption of production (tens of times less than Portland cement), sufficient sound, thermal insulation and other technological advantages. The elaboration of modified nanocomposite pressed gypsum binders, providing products with high physico-mechanical, operational and technical and economic indicators, remains an urgent task.

This article is aimed at studying the kinetics of controlled hardening of gypsum nanobinders.

MAIN PART

To solve technological problems of increasing the efficiency of hardening processes [1] of gypsum nanoconcrete, it is necessary to control the kinetics of setting and curing. The physico-chemical characteristics of the hardening of gypsum building materials depend primarily on the technology of production of raw materials.

The reserves of gypsum minerals in Russia are practically inexhaustible (only in the Republic of Bashkortostan in explored deposits they amount to over 400 million tons), there is also a large amount of gypsum-containing waste that is suitable for the production of materials for various purposes based on gypsum. Currently, about 250 million tons of gypsum materials based on natural raw materials and industrial wastes are produced annually in the world [2].

The basis of the production of gypsum nanobinders is the heat treatment of gypsum stone, during which phased physicochemical dehydration processes (dehydration) take place. According to the production technology, low-firing (up to 250°C), high-firing (from 600°C to 1000°C) and unbaked plaster binders are distinguished. The degree of dehydration of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (calcium sulfate dihydrate) depends on the temperature, conditions and duration of heat treatment. At low-temperature autoclave heat treatment (95–100°C) α -modification of $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ is formed (more correctly $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). α -Modification of calcium sulfate hemihydrate consists of large dense crystals that are used in the technological production of high-strength gypsum (15–20 MPa).

When hydrated water is removed in open technological devices from $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystals in the form of steam, its dispersion and loosening of the crystal lattice occurs, and the β -form of semi-aqueous $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ is formed. Calcium sulfate β -hemihydrate microcrystals are small, defectively formed, therefore, gypsum binders result in significant variations in dispersion, water demand, porosity and reduced strength values.

Low-calcined gypsum binders quickly set and harden, consist mainly of the β -modification $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ and are the basis of the construction and molding gypsum

binders. High-calcined gypsum nanobinders harden more slowly, consist mainly of anhydrite (calcium sulphate CaSO_4) and 3–5% of calcium oxide and form water-resistant nanocomposites. Unburned gypsum binders are obtained by fine grinding of natural or artificial varieties of calcium sulfate and this allows to reduce the energy consumption for processing raw materials.

The processes of hydration and setting of gypsum binders nanocomposites depend [3] on many different factors: the ratio of the gypsum component–water; mixing intensity and temperature; fine grinding, etc. The physicochemical processes of hardening of calcium sulfate hemihydrate (as well as other gypsum nanobinders) occurs in three stages:

- dissolution of microparticles of hemihydrate in water and the formation of its saturated solution; gypsum nanobinders plastically;
- interaction of water with calcium sulfate hemihydrate, which leads to the formation of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dihydrate in the form of ultrafine crystalline microparticles (the dihydrate is significantly less soluble in water (2 g/l) compared to $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ (8 g/l) and forms colloid nanosystem due to Van der Waals interactions and is accompanied by the launch of gel-like hardening;
- recrystallization of fine particles of calcium sulfate dihydrate with the topochemical formation of larger crystals and gradual accretion into crystalline intergrowths, which ensures the hardening and curing of gypsum nanocomposites.

Depending on the setting time, gypsum binders vary: from fast-hardening (the start of curing is not earlier than 2 minutes, the end is not later than 15 minutes) to slow hardening (the beginning of hardening is not earlier than 20 minutes, and the end is not normalized). One of the effective ways to control the setting time of gypsum binders is the use of appropriate nano-additives. The production technology of a multi-phase gypsum nanobinders with predominant anhydrite content provides slower setting time.

The stoichiometric water-gypsum binder ratio upon hydration of $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ to dihydrate is 0.18: this means that about 18% of water is required to be added. An additional amount of water (up to 30–40%) must be added to produce a conveniently molded gypsum paste. The kinetics of the setting of gypsum nanobinders are also influenced by the fineness of the grinding, the storage time of the raw material and other factors [4].

Theoretical and experimental studies [5–9] of the mechanisms for the hardening of gypsum nanobinders showed that the formation of a crystallization nanostructure occurs when the following conditions are met:

- microparticles of the dispersed phase should be at a sufficiently small distance h_c at which the formation of crystallization nanocontacts between them is possible;

- the concentration of the solute in the dispersed medium must be greater than the solubility of the crystalline hydrate, i.e. the system must be metastable. The higher the supersaturation of the solution, the greater can be the distance between the merging particles of the hydrate, at which crystallization nanostructure can be formed.

The distance between microparticles h_c , which ensures the formation of nanocrystallization contacts according to the data of [5], should be equal to $\sim 3\delta_0$ (δ_0 – intermolecular distance). It is not possible to bring crystalline hydrate particles of gypsum dihydrate to the required distance by ordinary technological methods, in particular, injection molding technology, therefore, non-trivial methods of molding are being developed. When pressing semi-dry mixtures, it is also difficult to bring the particles of dihydrate gypsum to the distance required to form a crystallization nanostructure, due to the low water content of the mixture and the low pressing pressure. Consequently, for such gypsum nanobinders, it is necessary to increase the supersaturation of the liquid phase with dihydrate, i.e. to fulfill the second condition for the emergence of a crystal hydrate structure, and this can be achieved by introducing into the composition a certain mass fraction of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Consider the mechanism of hardening nanobinder on the example of a gypsum composition, the solid phase of which consists of dihydrate (DH) and hemihydrate (HH) calcium sulphate. When mixed with water, HH starts intensively hydrating and dissolving: in a dispersed system, a supersaturated concentration of DH in the form of germ-free crystalline hydrates with a size of ≈ 2 nm is rather quickly created. However, the spatial crystalline hydrate nanostructure may not be formed if the initial distance between the DH nanoclusters is too large (more than 10 nm), i.e. the initial components are not sufficiently compacted, and the number of nanobinder HHs is not enough so that when it hydrates, the gap between the DH crystals decreases to a critical one.

After the end of the hydration process, HH of calcium sulfate in the first hours of hardening begins the second stage of the curing of the nanocomposite: by this time, a primary three-dimensional nanostructure has formed, which has initial strength, but with insufficient water resistance. In the future, the existing primary nanostructure is strengthened, as well as an increase in the number of crystallization nanocontacts between unbound microcrystals and their fouling. The second stage of hardening crystal hydrate nanostructures proceeds slowly over several months, depending on the hardening conditions of the gypsum nanobinder [10].

Studies of the microstructure of gypsum nanobinders show that between the lamellar with a thickness of less than 100 nm, the needle-like $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystals of various shapes and sizes in the solid phase state have

microcavities and micropores [11]. The formed nanostructure of the calcium sulfate dihydrate crystal lattice is layered: a layer of Ca^{2+} ions and sulfate tetrahedra SO_4^{2-} (connected by strong ionic bonds) alternates with a layer of water molecules. The parameters of the $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystal nanostructure are as follows: $a_0 = 0.57$ nm, $b_0 = 1.52$ nm, $c_0 = 0.63$ nm.

To regulate the speed of hardening (slowing down at the beginning of the process, accelerating at the end of strength building) of the components of 3 D-technologies, various additives are added to the gypsum nanocomposite: for example, 0.05% citric acid (polydentate inhibitor) slows down the setting by 30 minutes. Various hardening inhibitors reduce the dissolution rate of gypsum hemihydrate, therefore, reduce the concentration of precipitated crystalline hydrates. In particular, the inhibitory effect of adhesives and surface-active substances on the kinetics of setting is explained by the fact that they form stable colloidal nanoparticles that delay the crystallization process of gypsum dihydrate.

The kinetics of hardening and the formation of a primary nanostructure, as well as the effects of dihydrate gypsum, were studied by molding and testing samples of different compositions. For this purpose, samples were made on the basis of the gypsum grade G-4:

gypsum HH nanobinder G-4 (-B-II) – DH ($S = 3000 \text{ cm}^2/\text{g}$);

gypsum HH nanobinder G-4 (-B-II) – dolomite flour ($S = 2600 \text{ cm}^2/\text{g}$);

gypsum HH nanobinder G-4 (-B-II) – quartz sand.

The HH content of the nanobinder varied from 0 to 50%, the water-solid ratio was 0.22...0.17. The prepared cylindrical samples were pressed under a pressure of 20 MPa for 30 s and tested for compressive strength (CS) at the age of 1 day curing at relative air humidity $\varphi = 60 \pm 10\%$ and temperature $t^\circ = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. The results of experimental studies of samples based on gypsum nanobinder strength are presented in Fig. 1.

From figure 1 it is noticeable that dihydrate gypsum is quite actively involved in the formation of the primary nanostructure. In the presence of DH in the system, even with a small HH content (not more than 10%), a three-dimensional nanocrystallization structure is formed with a sufficiently high strength.

To study the non-hydration curing, hardened samples based on gypsum nanobinders were stored for a month at $t^\circ = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ and relative humidity of the atmosphere $\varphi = 60 \pm 10\%$. The kinetics of changes in the compressive strength of nanocomposite samples is shown in Fig. 2: a noticeable increase in compressive strength occurs in the first 4 days.

The microstructure of gypsum nanocomposites was studied using a JEOL JSM-6610L scanning electron microscope (Fig. 3). Electron microscopic images show an increase in the size of microcrystals over 8 days.

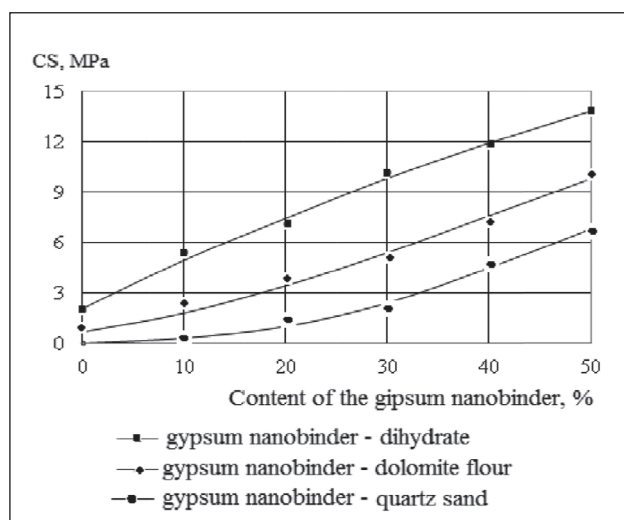


Fig. 1. The dynamics of growth of the strength of samples of different composition depending on the content of gypsum nanobinders at the age of 1 day

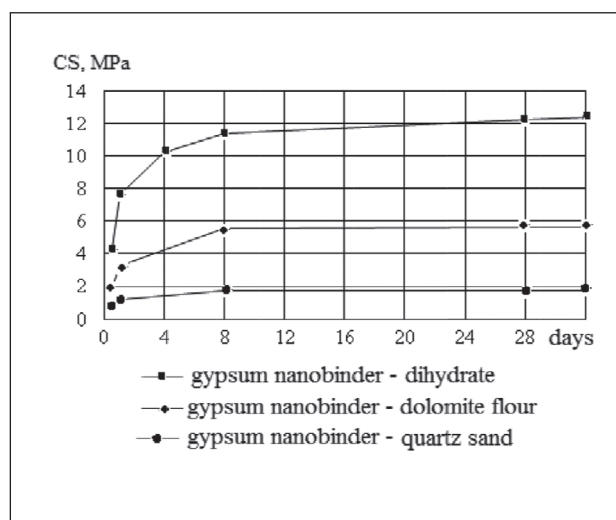


Fig. 2. The change in strength in time of pressed samples of different composition with the content of gypsum nano-binder 20%

On the basis of data from laboratory experiments, a technology was developed for producing small wall and partition products, which was tested in pilot-industrial conditions. Through the use of semi-dry pressing and vibropressing technologies, wall partitioning building materials with sufficient strength have been obtained. The use of nanoparticles of industrial wastes [12–14] allows us to accelerate the kinetics of curing, increase the brand of water resistance and improve the performance characteristics of composite gypsum binders. In the monograph [15], the technology of producing small-piece wall products by semi-dry pressing based on technogenic phosphogypsum dihydrate is considered in detail.

Consideration of structure formation and hardening of phosphogypsum building materials from the perspec-

tive of the fractal concept is correctly modeled as multi-fractal calcium sulfate dihydrate nanoclusters with dimensions of several tens of nanometers. [16]. Phosphogypsum nanocomposite with soda production wastes hardens due to complex reactions with the formation of hydrosulfoaluminates and calcium hydrosilicates. The paper [17] proposed a method for quantitative analysis of the images of the microstructure of a nano-modified composite based on performing binary decomposition. The mean values of the fractal dimension for empirical images of the microstructure are 1.63 (optical microscopy) and 1.76 (scanning probe microscopy).

When mechanically activating high-strength gypsum [18], it is advisable to introduce “FREM NANOGIPS” into dry mortar: this reduces the water-gypsum ratio

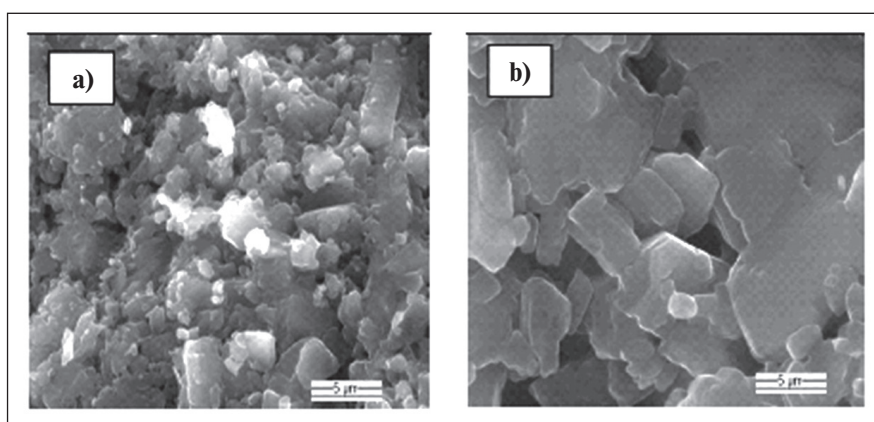


Fig. 3. Microstructure of pressed nanocomposite gypsum matrices (hardening time: a) – 1 day, b) – 8 days)

and increases by 3–6 times the strength characteristics of the resulting nanocomposite gypsum products and materials; allows you to adjust the setting time, enhances water resistance, as well as surface hardness and adhesion [19] to various solid-phase materials. The authors of the article [20] found that the modification of 0.18% by multi-layered carbon nanotubes is observed to increase the compressive strength of gypsum to 29%.

Innovative materials based on gypsum nanocomposite binders (dry plaster and putty mixtures) are created by modifying 0.25–1% polyvinyl acetate redispersible polymers [21]. Modified gypsum dry mixes have unique characteristics: the ability to control the setting time in wide ranges; sufficient strength, water resistance, etc.

It should be noted that the regulation of the hardening of gypsum binders is considered promising when designing the initial components of 3D-technologies [22]. Additive technologies are a layered addition of material on a computer 3D model [23] and now designers in

the construction industry are increasingly using 3D printing technologies, which ensures the speed of construction of low-rise buildings with a complex structure. An effective approach to enhancing the performance characteristics of building nanocomposites for 3D additive technologies based on gypsum binders is the implementation of controlled hardening with mineral additives.

CONCLUSION

Thus, the increase in strength in the process of the hardening of gypsum nanobinders is determined by the chemical and mineralogical composition of the initial raw materials and is parallel to the change in their microstructure. The technological properties of gypsum nanocomposites: setting time, water resistance, durability, etc. can be adjusted by changing the ratio of the individual components and the introduction of technogenic nanomodifiers.

ВВЕДЕНИЕ

Стройматериалы на основе бесклнкерных гипсовых вяжущих отличаются малой энергозатратностью производства (в десятки раз меньше чем портландцемент), достаточной звуко-, теплоизоляцией и другими технологическими преимуществами. Разработка модифицированных нанокомпозиционных прессованных гипсовых вяжущих, обеспечивающих получение изделий с высокими физико-механическими, эксплуатационными и технико-экономическими показателями, остается актуальной задачей.

Данная статья нацелена на исследование кинетики регулируемого твердения гипсовых нановяжущих.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решения технологических задач повышения эффективности процессов твердения [1] гипсобетонов необходимо управлять кинетикой схватывания и набора прочности. Физико-химические особенности твердения гипсовых стройматериалов зависят, прежде всего, от технологии производства сырьевых компонентов.

Запасы гипсовых минералов в России практически неисчерпаемы (только в Республике Башкортостан на разведанных месторождениях они составляют свыше 400 млн. тонн), имеется также большое количество гипсосодержащих отходов, которые пригодны для производства материалов различно-

го назначения на основе гипса. В настоящее время ежегодно в мире вырабатывается около 250 млн. т гипсовых материалов на основе природного сырья и техногенных отходов [2].

Основой производства гипсовых нановяжущих является термообработка гипсового камня, при которой происходят поэтапные физико-химические процессы обезвоживания (дегидратация). По технологии производства различают низкообжиговые (до 250°C), высокообжиговые (от 600°C до 1000°C) и безобжиговые гипсовые вяжущие. Степень дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (дигидрата сульфата кальция) зависит от температуры, условий и длительности тепловой обработки. При низкотемпературной автоклавной термообработке (95–100°C) образуется α -модификация $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (более корректно $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). α -Модификация полугидрата сульфата кальция состоит из крупных плотных кристаллов, которые используются в технологическом производстве высокопрочного гипса (15–20 МПа).

При удалении гидратной воды в открытых технологических аппаратах из кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в виде пара происходит его диспергирование и разрыхление кристаллической решетки, при этом образуется β -форма полуводного $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Микрокристаллы β -полугидрата сульфата кальция мелкие, дефективно сформированы, поэтому гипсовые вяжущие получают значительными вариациями дисперсности, водопотребности, пористости и сниженными значениями прочности.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие быстро схватываются и твердеют, состоят преимущественно из β -модификации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ и являются основой строительного и формовочного гипсовых вяжущих. Высокообжиговые гипсовые нановяжущие отвердевают медленнее, состоят преимущественно из ангидрита (сульфата кальция CaSO_4) и 3–5% оксида кальция и образуют водостойкие нанокompозиты. Безобжиговые гипсовые вяжущие получают при тонком измельчении природных или искусственных разновидностей сульфата кальция, и это позволяет уменьшить энергозатраты на переработку исходного сырья.

Процессы гидратации и схватывания нанокompозитов гипсовых вяжущих зависят [3] от множества разнообразных факторов: соотношения гипсового компонента—воды; интенсивности и температуры смешения; тонкости помола и т.п. Физико-химические процессы твердения полугидрата сульфата кальция (так же как и других гипсовых нановяжущих) происходит в три стадии:

- растворение микрочастиц полугидрата в воде и образование его насыщенного раствора; гипсовое нановяжущее пластично;
- взаимодействие воды с полугидратом сульфата кальция, что приводит к образованию дигидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в виде ультрадисперсных кристаллических микрочастиц (дигидрат значительно менее растворим в воде (2 г/л) по сравнению с $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ (8 г/л) и формированию коллоидной наносистемы за счет Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий и сопровождается запуском гелеобразного твердения;
- перекристаллизация тонкодисперсных частичек дигидрата сульфата кальция с топомхимическим формированием более крупных кристаллов и постепенным срастанием в кристаллические сростки, что обеспечивает твердение и набор прочности гипсовых нанокompозитов.

В зависимости от сроков схватывания гипсовые вяжущие варьируют от быстротвердеющих (начало отверждения не ранее 2 мин., конец не позднее 15 мин.) до медленнотвердеющих (начало твердения не ранее 20 мин., а конец не нормируется). Одним из эффективных способов регулирования сроков схватывания гипсовых вяжущих является применение соответствующих нанодобавок. Технология производства многофазового гипсового нановяжущего с преимущественным содержанием ангидрита обеспечивает замедленные сроки схватывания.

Стехиометрическое соотношение вода-гипсовое вяжущее при гидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ в дигидрат равно 0,18; значит, требуется добавить около 18% воды. Добавочное количество воды (до 30–40%) необходимо прибавить для производства удобнофор-

муемой пасты гипсовой нановяжущей. На кинетику схватывания гипсовых нановяжущих также влияют тонкость помола, длительность хранения исходного сырья и другие факторы [4].

Теоретические и экспериментальные исследования [5–9] механизмов твердения гипсовых нановяжущих показали, что формирование кристаллизационной наноструктуры происходит при выполнении следующих условий:

- микрочастицы дисперсной фазы должны находиться на достаточно малом расстоянии h_k , при котором возможно образование кристаллизационных наноконтактов между ними;
- концентрация растворенного вещества в дисперсной среде должна быть больше растворимости кристаллогидрата, т. е. система должна быть метастабильной. Чем выше пересыщение раствора, тем больше может быть расстояние между срастающимися частицами гидрата, при котором возможно образование кристаллизационной наноструктуры.

Расстояние между микрочастицами h_k , обеспечивающее формирование нанокристаллизационных контактов по данным работы [5], должно быть равно $\sim 3\delta_0$ (δ_0 — межмолекулярное расстояние). Сблизить кристаллогидратные частицы дигидрата гипса до требуемого расстояния ординарными технологическими приемами, в частности, по литьевой технологии не удастся, поэтому разрабатываются нетривиальные способы формования. При прессовании полусухих смесей сблизить частицы дигидрата гипса на расстояние, необходимое для образования кристаллизационной наноструктуры, также затруднено, что обусловлено низким водосодержанием смеси и невысоким давлением прессования. Следовательно, для подобных гипсовых нановяжущих необходимо повысить пересыщение жидкой фазы дигидратом, т.е. выполнить второе условие возникновения кристаллогидратной структуры, а этого можно достичь введением в композицию некоторой массовой доли $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Рассмотрим механизм твердения нановяжущей на примере гипсовой композиции, твердая фаза которой состоит из дигидратного (ДГ) и полугидратного (ПГ) сульфата кальция. При затворении водой ПГ начинает интенсивно гидратироваться и растворяться: в дисперсной системе достаточно быстро создается пересыщенная концентрация ДГ в виде зародышевых кристаллогидратов с размером ≈ 2 нм. Однако пространственная кристаллогидратная наноструктура может не формироваться, если первоначальное расстояние между нанокластерами ДГ слишком велико (больше 10 нм), т.е. исходные компоненты недостаточно уплотнены, а количество нановяжущего ПГ недостаточно для того, чтобы при

его гидратации зазор между кристаллами ДГ уменьшился до критического.

После окончания процесса гидратации ПГ сульфата кальция в первые часы твердения наступает вторая стадия отверждения наноконпозиции: к этому моменту времени сформировалась первичная трехмерная наноструктура, обладающая начальной прочностью, но с недостаточной водостойкостью. В дальнейшем происходит упрочнение существующей первичной наноструктуры, а также рост числа наноконтактов кристаллизации между несвязанными микрокристаллами и их обрастания. Вторая стадия упрочнения кристаллогидратных наноструктур протекает медленно в течение нескольких месяцев, в зависимости от условий твердения гипсовых нановязущих [10].

Исследования микроструктуры гипсовых нановязущих показывают, что между пластинчатыми с толщиной менее 100 нм игольчатыми кристаллами $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ разнообразной формы и размеров в твердофазовом состоянии имеются микрополости и микропоры [11]. Сформированная наноструктура кристаллической решетки дигидрата сульфата кальция слоистая: прослойка из ионов Ca^{2+} и сульфатных тетраэдров SO_4^{2-} (соединенные прочными ионными связями) чередуется слоем молекул воды. Параметры наноструктуры кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ следующие: $a_0 = 0,57$ нм, $b_0 = 1,52$ нм, $c_0 = 0,63$ нм.

Для регулирования скорости твердения (замедления в начале процесса, ускорения при завершении набора прочности) компонентов 3D-технологий в гипсовую наноконпозицию добавляют разнообразные добавки: например, 0,05% лимонная кислота

(полидентантный ингибитор) замедляет схватывание на 30 мин. Разнообразные замедлители твердения понижают скорость растворения полугидрата гипса, следовательно, уменьшают концентрацию выпадающих в осадок кристаллогидратов. В частности, ингибирующее действие клеев и поверхностно активных веществ на кинетику схватывания объясняется тем, что они формируют устойчивые коллоидные наночастицы, которые задерживают процесс кристаллизации дигидрата гипса.

Кинетику твердения нановязущих и образование первичной наноструктуры, а также влияния дигидрата гипса изучали путем формования и испытания образцов различного состава. Для этого изготовили образцы на основе марки гипса Г-4:

гипсовое ПГ нановязущее Г-4(-Б-II) – ДГ ($S_{\text{уд.}} \approx 3000 \text{ см}^2/\text{г}$);

гипсовое ПГ нановязущее Г-4(-Б-II) – доломитовая мука ($S_{\text{уд.}} \approx 2600 \text{ см}^2/\text{г}$);

гипсовое ПГ нановязущее Г-4(-Б-II) – кварцевый песок.

Содержание ПГ нановязущего изменялось от 0 до 50%, водотвердое отношение – 0,22...0,17. Приготовленные образцы цилиндрической формы прессовали под давлением 20 МПа в течение 30 с и испытывали на прочность при сжатии в возрасте 1 сут. твердения при относительной влажности воздуха $\phi = 60 \pm 10\%$ и температуры $t^\circ = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. Результаты экспериментальных исследований образцов на основе гипсовых нановязущих на прочность представлены на рис. 1.

Из рисунка 1 заметно, что дигидратный гипс достаточно активно участвует в формировании пер-

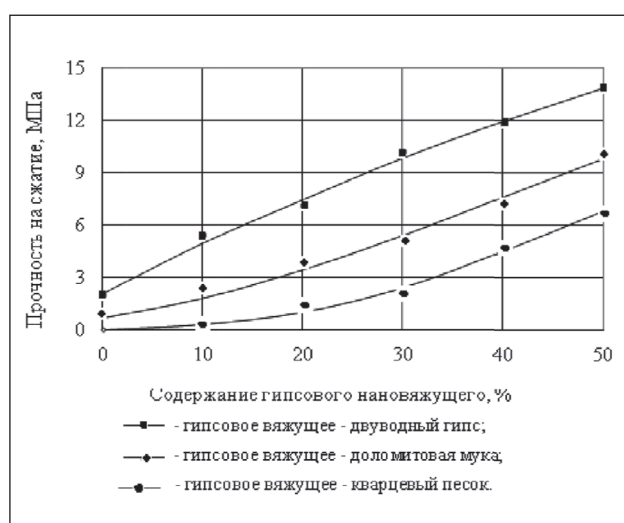


Рис. 1. Динамика роста прочности образцов различного состава в зависимости от содержания гипсового нановязущего в возрасте 1 сут.

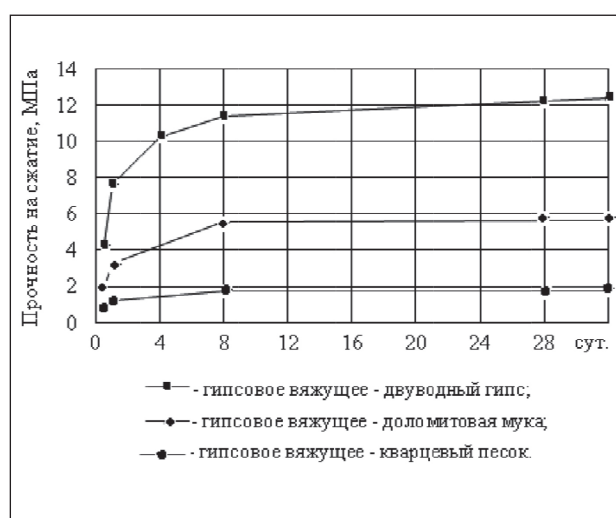


Рис. 2. Изменение прочности во времени прессованных образцов различного состава при содержании гипсового нановязущего 20%

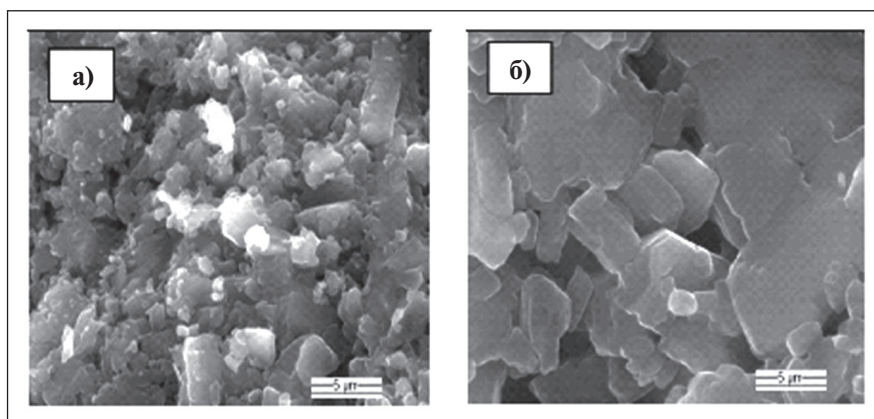


Рис. 3. Микроструктура прессованных нанокompозитных гипсовых матриц.
Время твердения: а) – 1 сут., б) – 8 сут.

вичной наноструктуры. При наличии в системе ДГ даже при небольшом содержании ПГ (не более 10%) образуется трехмерная нанокристаллизационная структура с достаточно высокой прочностью.

Для изучения безгидратационного набора прочности затвердевшие образцы на основе гипсовых нановязущих хранились в течение месяца при $t^0 = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности атмосферы $\phi = 60 \pm 10\%$. Кинетика изменения прочности на сжатие нанокompозитных образцов приведена на рис. 2: заметный рост прочности на сжатие происходит в первые 4 суток.

Микроструктура гипсовых нанокompозитов исследована на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610L. Электронномикроскопические снимки показывают (рис. 3) увеличение размеров микрокристаллов в течение 8 суток.

На базе данных лабораторных опытов была разработана технология получения мелкоштучных стеновых и перегородочных изделий, которая была апробирована в опытно-промышленных условиях. За счет использования технологий полусухого прессования и вибропрессования получены стеновые перегородочные стройматериалы с достаточной прочностью. Использование наночастиц техногенных отходов [12–14] позволяет ускорить кинетику набора прочности, повысить марку по водонепроницаемости и улучшить эксплуатационные характеристики композиционных гипсовых вяжущих. В работе [15] подробно рассмотрена технология получения мелкоштучных стеновых изделий полусухим прессованием на основе техногенного дигидрата фосфогипса.

Рассмотрение структурообразования и твердения фосфогипсовых стройматериалов с позиции фрактальной концепции корректно моделируется в виде мультифрактальных нанокластеров дигидрата суль-

фата кальция размерами несколько десятков нанометров [16]. Фосфогипсовая нанокompозиция с отходами производства соды твердеет за счет комплексных реакций с образованием гидросульфаталюминатов и гидросиликатов кальция. В статье [17] предложен метод количественного анализа изображений микроструктуры наномодифицированного композита, основанный на выполнении двоичной декомпозиции. Средние значения фрактальной размерности для эмпирических изображений микроструктуры составляют 1,63 (оптическая микроскопия) и 1,76 (сканирующая зондовая микроскопия).

При механоактивации высокопрочных гипсов [18] целесообразно ввести в сухую строительную смесь «FREM NANOGIPS»: это дает снижение водогипсового отношения и повышение в 3–6 раз прочностных характеристик получаемых нанокompозитных гипсовых изделий и материалов; позволяет регулировать время схватывания, усиливает водостойкость, а также поверхностную твердость и адгезию [19] к различным твердофазным материалам. Авторами статьи [20] установлено, что при модифицировании 0,18% многослойными углеродными нанотрубками наблюдается прирост прочности на сжатие гипса до 29%.

Инновационные материалы на базе гипсовых нанокompозитных вяжущих (сухие штукатурные и шпаклевочные смеси) созданы модификацией 0,25–1% поливинилацетатными редиспергируемыми полимерами [21]. Модифицированные гипсовые сухие смеси обладают уникальными характеристиками: возможностью регулирования сроков схватывания в широких диапазонах, достаточной прочностью, водостойкостью и др.

Следует отметить, что регуляция твердения гипсовых вяжущих считается перспективным при конструировании исходных компонентов 3D-технологий

[22]. Аддитивные технологии представляют собой послойное добавление материала по компьютерной 3D-модели [23], и в настоящее время проектировщики в стройиндустрии все больше используют технологии 3D-печати, что обеспечивает быстроту возведения малоэтажных зданий со сложной конструкцией. Эффективным подходом усиления эксплуатационных характеристик строительных нанокompозитов для 3D аддитивных технологий на базе гипсовых вяжущих является реализация регулируемого твердения с минеральными добавками.

ВЫВОДЫ

Таким образом, нарастание прочности в процессе твердения гипсовых нановяжущих определяется химико-минералогическим составом исходных сырьевых компонентов и идет параллельно изменению их микроструктуры. Технологические свойства гипсовых нанокompозитов: сроки схватывания, водостойкость, прочность и др. можно регулировать, изменяя соотношение отдельных компонентов и введением техногенных наномодификатов.

REFERENCES

1. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanotechnological applied tasks of the increase in the efficiency of the hardening processes of cement concrete. *Nanotechnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 25–41. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41. (In Russian).
2. Belov V.V., Buryanov A.F., Yakovlev G.I. et al. Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulfate. Moscow: De Nova. 2012. 196 p. (In Russian).
3. Padevët P., Tesárek P., Plachý T. Evolution of mechanical properties of gypsum in time. *International Journal of Mechanics*. 2011. Vol. 5, no 1. P. 1–9.
4. Gypsum materials and products (production and use). Handbook / Ed. A.V. Ferronskaya. Moscow: Publ. ABU, 2004. 485 p. (In Russian).
5. Polak A.F., Babkov V.V., Andreeva E.P. Hardening mineral binders. Ufa: Bash. Publ. House, 1990. 215 p. (In Russian).
6. Klimenko V.G. Multiphase gypsum binders. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2010. 198 p. (In Russian).
7. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B. Low-energy-intensive gypsum building composites. Tver: TSTU, 2014. 136 p. (In Russian).
8. Yu Q.L., Brouwers H.J.H. Microstructure and mechanical properties of β -hemihydrate produced gypsum: An insight from its hydration process. *Constr. Build. Mater.* 2011. Vol. 25. P. 3149–3157.
9. Mirsaev R.N., Babkov V.V., Nedoseko I.V. et al. Structural Formation and Hardening of Compressed Calcium Sulphate Dihydrate Compositions. *Construction Materials*. 2009. No. 6. P. 6–9. (In Russian).
10. Gaitova A.R., Akhmadullina I.I., Pechenkina T.V. et al. Nanostructural aspects of hydration and hardening of gypsum and gypsum-slag compositions based on two-water gypsum. *Construction Materials*. 2014. No. 1–2. P. 46–51. (In Russian).
11. Tokarev Yu.V., Ginchitsky E.O., Yakovlev G.I. et al. Modification efficiency of gypsum binder with carbon nanotubes and additives of different dispersity. *Construction Materials*. 2015. No. 6. P. 84–87. (In Russian).
12. Oratovska A.A., Sinitsyn D.A., Galeeva L.S. et al. The use waste of production of sodium to obtain lime-containing binders and building materials on their basis. *Construction Materials*. 2012. No. 2. P. 52–53. (In Russian).
13. Khezhev T.A., Pukharensko Yu.V., Khezhev Kh.A. et al. Fiber gypsum concrete composites with using volcanic tuff sawing waste. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, no. 8. P. 2935–2946.
14. Khalikov R. M., Ivanova O. V. Technological schemes of solution of ecological problems of regional production of materials. *Nauka-Rastudent.ru*. 2014. No. 3(03). P. 10. (In Russian).
15. Mirsaev R.N., Babkov V.V., Yunusova S.S. et al. Phosphogypsum waste of the chemical industry in the production of wall products. Moscow: Chemistry, 2004. 176 p. (In Russian).
16. Sinitsin D.A., Khalikov R.M., Bulatov B.G. et al. Technological approaches to directed structure formation of construction nanocomposites with increased corrosion resistance. *Nanotechnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2019, Vol. 11, no. 2, pp. 153–164. — DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164. (In Russian).
17. Smirnov V.A., Korolev E.V., Danilov A.M. et al. Fractal analysis of the nano-modified composite microstructure. *Nanotechnologies in construction*. 2011. V. 3, no. 5, pp. 77–86. (In Russian).
18. Kuzmina V.P. Mechanisms of nanoadditives influence on gypsum products. *Nanotechnologies in construction*. 2012. V. 4, no. 3, pp. 98–106. (In Russian).
19. Mashukov N.I., Khalikov R.M., Kharaev A.M. Stabilization and modification of molecular structures. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. 210 p. (In Russian).
20. Chumak A.G., Derevyanko V.N., Petrunin S.Yu. et al. Structure and properties of a composite material based on gypsum binder and carbon nanotubes. *Nanotechnologies in construction*. 2013. V. 5, no. 2, pp. 27–37. (In Russian).

21. Panferova A.Yu., Garkavi M.S. Modification of gypsum systems with small additions of polymers. Construction Materials. 2011. No. 6. P. 8–9. (In Russian).
22. Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesovik V.S. et al. Effective composites employing fast-hardening gypsum cement binders for additive manufacturing. Advances in Engineering Research. 2017. V. 133. P. 135–141.
23. Sergeeva O.Yu. Additive technologies and 3D modeling. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in construction. 2018. V. 10, no. 4, pp. 142–158. DOI: dx.doi.org / 10.15828 / 2075-8545-2018-10-4-142-158. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Прикладные нанотехнологические задачи повышения эффективности процессов твердения цементных бетонов // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, №1. – С. 25–41. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41.
2. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. – М.: Де Нова, 2012. – 196 с.
3. Padevĕt P., Tesárek P., Plachý T. Evolution of mechanical properties of gypsum in time // International Journal of Mechanics. – 2011. – Vol. 5, no. 1. – P. 1–9.
4. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. / Под ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 485 с.
5. Полак А.Ф., Бабков В.В., Андреева Е.П. Твердение минеральных вяжущих веществ. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. – 215 с.
6. Клименко В.Г. Многофазовые гипсовые вяжущие. – Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. – 198 с.
7. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые строительные композиты. – Тверь: ТГТУ, 2014. – 136 с.
8. Yu Q.L., Brouwers H.J.H. Microstructure and mechanical properties of β -hemihydrate produced gypsum: An insight from its hydration process // Constr. Build. Mater. – 2011. – Vol. 25. – P. 3149–3157.
9. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В. и др. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 6–9.
10. Гаитова А.Р., Ахмадуллина И.И., Печенкина Т.В. и др. Наноструктурные аспекты гидратации и твердения гипсовых и гипсошлаковых композиций на основе двуводного гипса // Строительные материалы. – 2014. – № 1–2. – С. 46–51.
11. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Яковлев Г.И. и др. Эффективность модификации гипсового вяжущего углеродными нанотрубками и добавками различной дисперсности // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 84–87.
12. Оратовская А.А., Синицин Д.А., Галеева Л.Ш. и др. Использование отходов производства кальцинированной соды для получения известкостержащих вяжущих и строительных материалов на их основе // Строительные материалы. – 2012. – № 2. – С. 52–53.
13. Khezhev T.A., Pukharensko Yu.V., Khezhev Kh.A. et al. Fiber gypsum concrete composites with using volcanic tuff sawing waste // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. – Vol. 13, no. 8. – P. 2935–2946.
14. Халиков Р.М., Иванова О.В. Технологические схемы решения экологических проблем регионального производства материалов // Nauka-Rastudent.ru – 2014. – № 3(03). – С. 10.
15. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Юнусова С.С. и др. Фосфогипсовые отходы химической промышленности в производстве стеновых изделий. – М.: Химия, 2004. – 176 с.
16. Синицин Д.А., Халиков Р.М., Булатов Б.Г. и др. Технологичные подходы направленного структурообразования нанокompозитов строительного назначения с повышенной коррозионной устойчивостью // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 2. – С. 153–164. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164.
17. Смирнов В.А., Королёв Е.В., Данилов А.М. и др. Фрактальный анализ микроструктуры наномодифицированного композита // Нанотехнологии в строительстве. – 2011. – Том 3, № 5. – С. 77–86. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: 18 января 2019 г.)
18. Кузьмина В.П. Механизмы воздействия нанодобавок на гипсовые продукты // Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – Том 4, № 3. – С. 98–106. – URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: 19 января 2019 г.)
19. Машуков Н.И., Халиков Р.М., Хараев А.М. Стабилизация и модификация молекулярных структур. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 210 с.
20. Чумак А.Г., Деревянко В.Н., Петрунин С.Ю. и др. Структура и свойства композиционного материала на основе гипсового вяжущего и углеродных нанотрубок // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 2. – С. 27–37. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: 20 января 2019 г.)
21. Панферова А.Ю., Гаркави М.С. Модифицирование гипсовых систем малыми добавками полимеров // Строительные материалы. – 2011. – № 6. – С. 8–9.
22. Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesovik V.S. et al. Effective composites employing fast-hardening gypsum cement binders for additive manufacturing // Advances in Engineering Research. – 2017. – V. 133. – P. 135–141.
23. Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 4. – С. 142–158. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rauf M. Khalikov, Ph.D. in Chemistry, Ufa State Petroleum Technological University;
Mendeleev st., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080; rauf_khalikov@mail.ru;

Ekaterina A. Sinitsina, assistant, Ufa State Petroleum Technological University;
Mendeleev st., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080; sinitsina.katy@yandex.ru

Elena I. Silantjeva, master's student, Ufa State Petroleum Technological University;
Mendeleev st., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080; silanteva.elena.ufa@gmail.com

Alexander N. Pudovkin, Ph.D. in Engineering, Kumertau branch of Orenburg State University;
2nd Lane Soviet, 3B, Kumertau, Bashkortostan Republic, Russia, 453300; 11pk@rambler.ru

Igor V. Nedoseko, Doctor of Engineering, Ufa State Petroleum Technological University;
Mendeleev st., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080, nedoseko1964@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Халиков Рауф Музагитович, к.х.н., доц. каф. «Строительные конструкции»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, rauf_khalikov@mail.ru;

Синицина Екатерина Александровна, ассистент каф. «Строительные конструкции»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, sinitsina.katy@yandex.ru;

Силантьева Елена Игоревна, магистрант каф. «Строительные конструкции»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, silanteva.elena.ufa@gmail.com;

Пудовкин Александр Николаевич, к.т.н., доц. каф. «Производство строительных материалов»,
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет, Кумертауский филиал»;
переулок 2-й Советский, д. 3Б, г. Кумертау, Республика Башкортостан, 453300; 11pk@rambler.ru;

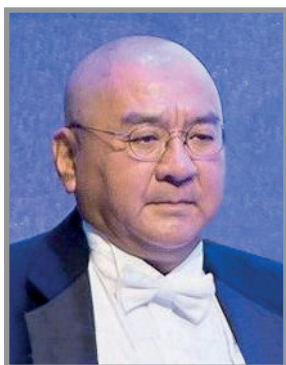
Недосеко Игорь Вадимович, д.т.н., проф. каф. «Строительные конструкции»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, nedoseko1964@mail.ru

CONTACTS / КОНТАКТЫ

e-mail: rauf_khalikov@mail.ru

About the international Tang Prize

The international Tang Prize was established in Taiwan in 2012. The Tang Prize is the highest scientific and social award for the outstanding contributions and achievements in the following nominations: «Sustainable development», «Biopharmaceutical Science», «Sinology», «Rule of law» and it keeps the traditions of such events as Olympic movement, Nobel Prize and other international rewards.



The founder of the Tang Prize
is Doctor Samuel Yen-Liang Yin



The CEO of the Tang Prize Foundation
is Professor Jenn-chuan Chern



Tang Prize ceremony in 2018



The Tang Prize Medal.

The Tang Prize Medal, designed by Japanese designer Fukasawa Naoto, is a single piece of 214 g., 99,99 pure gold. The spiral curves imply the structure of DNA, a spiral galaxy, an image of a dragon, in addition to speaking of one's life force and expressing a dynamism of movement. Although the spiral curves are based on a circular structure, they never return to the same position. What they express is a sense of infinity that applies to our history, growth, and life.



2018 Tang Prize Diploma Design Concept
Tang Prize Diploma is a token for recognizing the contribution of the laureates. 2018 Tang Prize Diploma design has been commissioned to the world renowned Dutch book designer Irma Boom. Abstract and original, the diploma design is paper art in its simplicity, reflecting the philosophy of the Tang Prize. Vivid green, yellow, red, and blue represent the four prize categories, Sustainable Development, Biopharmaceutical Science, Sinology, and Rule of Law, respectively.



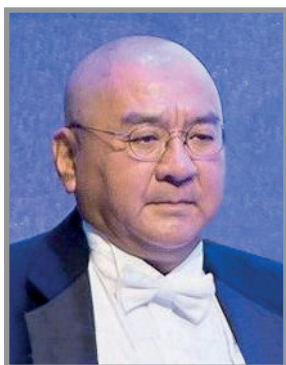
The Prize has been given every two years since 2014. The fund of each nomination is about 1 360 000 USD, and additional grants for further research are about 340 000 USD, the total amount for winner is about 1,7 million USD.

For more detailed information see website
www.tang-prize.org

R

О международной премии Тан

Международная премия Тан учреждена в 2012 г. на Тайване. Премия Тан является высшей научной и общественной наградой за выдающиеся достижения и заслуги в номинациях: «Устойчивое развитие», «Биомедицина», «Синология», «Юриспруденция», и продолжает традиции, которые имеются в мировой практике, такие как Олимпийское движение, Нобелевская премия и другие международные конкурсы.



Основатель Премии Тан –
доктор Самуэл Иен-Лян Ин



Руководитель Фонда премии –
профессор Дженн-Чуан Черн



Торжественная церемония
вручения Премии Тан в 2018 году



Медаль премии Тан

Медаль разработана японским дизайнером Наото Фукасава и представляет цельный кусок 214 г чистого золота 99,99 пробы, выполненный в виде спирали. Спираль подразумевает собой структуру ДНК, спиральные галактики, образ дракона, говорит о силе жизни и выражает динамизм движения. Хотя спирали имеют не кольцевую структуру, они никогда не возвращаются на ту же позицию. Они выражают бесконечность, что относится и к нашей истории, к тенденции роста нашей жизни.



Диплом Премии Тан 2018 является знаком признания выдающихся достижений лауреатов. Диплом Премии Тан 2018 разработал всемирно известный голландский книжный дизайнер Ирма Бум. Абстрактный и оригинальный дизайн диплома – это искусство совмещения на бумаге простых цветовых сочетаний, отражающих философию Премии Тан. Ярко-зеленый, желтый, красный и синий представляют четыре призовые категории: «Устойчивое развитие», «Биомедицина», «Синология» и «Юриспруденция», соответственно.



Премия вручается раз в два года, начиная с 2014. Ее размер в каждой из номинаций составляет около 1 360 000 долл. США, а также дополнительные гранты около 340 000 долл. на проведение дальнейших исследований, итого около 1,7 млн долл. США для победителя.

Более подробная информация на сайте
www.tang-prize.org

R

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576

UDC 691

On the properties of nano-modified cement stones

Authors:

Vakhitova Roza Il.,

Associate Professor, PhD in Engineering, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia,
e-mail: roza-w@mail.ru;

Saracheva Diana A.,

PhD in Engineering, Senior Lecturer, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia,
e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

Mazankina Daria V.,

Senior Lecturer, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia, e-mail: daria-mazankina@yandex.ru

Kiyamov Ilgam K.,

Professor, Doctor of Economics, Kazan (Volga Region) Federal University, Engineering Institute; Kazan, Russia,
e-mail: kiyamov.ilgam@mail.ru;

Sabitov Linar S.,

Associate Professor, PhD in Engineering, Kazan (Volga Region) Federal University, Engineering Institute; Kazan, Russia,
e-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

Abstract: The use of nanotechnology in the construction industry improves its efficiency. The application of nano-modified materials makes it possible to reduce capital costs. Currently the introduction of nanomaterials is of great importance for the construction industry. Carbonaceous structures can be used as nano-modifiers. Carbon nanotubular material TUBALL produced by OCSiAl.ru LLC has been chosen.

To perform research samples of single-layer and multi-walled carbon nanotubes were used as a part of cement heavy concrete. The optimal dosage of carbon nanotubes in the composition of cement concrete has been experimentally determined. The studies revealed that addition of TUBALL carbon nanotubes to the cement composition contributed to the formation of a mesh structure that resists the formation of shrinkable nanoscale cracks in the cement mortar, promotes the appearance of calcium hydrosilicates, increases the concentration of calcium ions at the start of the hydration period.

The influence of modified nanoadditives in the composition of the complex additive on the mechanical properties of the cement composition has been considered. The complex of mechanical properties of cement nanoreinforced stone in the process of cementing the annular space of producing wells by X-ray and thermal methods of analysis has been studied. That confirmed the results of experiments performed with electronic and optical microscopy.

The microstructural elements of the cement specimen were investigated with high-resolution auto-emission scanning electron microscope Merlin by CARL ZEISS.

It was found that the addition of complex nanomodified additive TUBALL accelerates the curing of the cement composite at early stage of hardening, decreases value of shrinkable nano-cracks, that in turn positively characterizes the quality of contacts at the boundaries of cement-casing, rock-cement.

Keywords: heavy concrete, hyperplasticizer, water repellent, nano-modified cement stone, nanomaterials, TUBALL, single-layer and multi-layered carbon nanotubes, hardening, curing, dispersion.

For citation: Vakhitova R.I., Saracheva D.A., Mazankina D.V., Kiyamov I.K., Sabitov L.S. On the properties of nano-modified cement stones. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 565–576. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>
On the properties of nano-modified cement stones by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 565–576. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576" property="ccattributionName" rel="ccattributionURL">Vakhitova R.I., Saracheva D.A., Mazankina D.V., Kiyamov I.K., Sabitov L.S. is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/.
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or stored in a retrieval system without prior written permission from the publisher. All rights reserved. The scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="sarachevadiana85@mail.ru" rel="cc:morePermissions">sarachevadiana85@mail.ru.

The paper has been received by editors: 09.09.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 30.09.2019.

The paper has been accepted for publication: 02.10.2019.

О свойствах наномодифицированных цементных камней

Авторы:

Вахитова Роза Ильгизовна,

доцент, кандидат технических наук, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия,
e-mail: roza-w@mail.ru;

Сарачева Диана Азатовна,

кандидат технических наук, старший преподаватель, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия, e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

Мазанкина Дарья Владимировна.

старший преподаватель, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия,
e-mail: daria-mazankina@vandex.ru:

Киямов Ильгам Киямович.

доктор экономических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Инженерный институт;
Казань, Россия. e-mail: kiyamov.ilqam@mail.ru:

Сабитов Линар Салихзанович.

кандидат технических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Инженерный институт;
Казань, Россия. e-mail: sabitov-kaasu@mail.ru

Резюме: Использование нанотехнологий в строительной отрасли позволяет повысить её эффективность. Использование наномодифицированных материалов даёт возможность снизить капитальные затраты. В настоящее время для строительной индустрии актуально внедрение наноматериалов. В качестве наномодификаторов можно применять углеродосодержащие структуры. Выбрали углеродный нанотубулярный материал TUBALL производства ООО «OCSIA.ru».

Для проведения исследований использовались образцы однослойных и многослойных углеродных нанотрубок в составе цементного тяжелого бетона. Экспериментально определялась оптимальная дозировка углеродных нанотрубок в составе цементного бетона. При проведении исследований выявлено, что добавление углеродных нанотрубок TUBALL в цементную композицию способствовало образованию сетчатой структуры, которая оказывает сопротивление образованию усадочных наноразмерных трещин в цементном растворе, способствует появлению новообразований в виде гидросиликатов кальция, повышает на старте периода гидратации концентрацию ионов кальция.

Рассмотрели влияние модифицированных исследуемых нанодобавок в составе комплексной добавки на механические свойства цементной композиции. Изучили комплекс механических свойств цементного наноармированного камня в процессе цементирования затрубного пространства добывающих скважин рентгеновским и термическим методами анализа, это подтвердили эксперименты с применением электронной и оптической микроскопии.

Исследовали микроструктурные элементы цементного образца с применением высокоразрешающего автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Merlin компании CARL ZEISS.

Установлено, что добавление комплексной наномодифицированной добавки TUBALL способствует ускорению набора прочности цементного композита на ранней стадии твердения, уменьшению значения усадочных нанотрещин, что, в свою очередь, положительно характеризует качество контактов на границах цемент-обсаженная колонна, порода-цемент.

Ключевые слова: тяжелый бетон, гиперпластификатор, гидрофобизатор, наномодифицированный цементный камень, наноматериалы, TUBALL, однослойные и многослойные углеродные нанотрубки, твердение, набор прочности, диспергация.

Для цитирования: Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Мазанкина Д.В., Киямов И.К., Сабитов Л.С. О свойствах наномодифицированных цементных камней // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 565–576. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576.

Машиночитаемая информация о CC-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

`
On the properties of nano-modified cement stones by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:sarachevadiana85@mail.ru" rel="cc:morePermissions">sarachevadiana85@mail.ru.`

Статья поступила в редакцию: 09.09.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 30.09.2019.

Статья принята к публикации: 02.10.2019.

INTRODUCTION

Modern research in the field of nanotechnology is supported by the government of the Russian Federation and is included in the list of priority areas for the development of science and technology. The Republic of Tatarstan gives proper heed to the creation of new products modified by nanotubes [1].

Scientific practical interest particularly focused on improvement of the operational properties of concrete based on its modification with the addition of chemical additives, such as carbon nanotubes to produce the necessary import-substituting and export-oriented articles [2–4].

In accordance with the order of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan of July 16, 2015. No. 1561, activity plan was developed to support the creation of products based on single-walled carbon nanotubes (TUBALL) at the enterprises of the Republic of Tatarstan for 2015–2018, namely, methods for introducing nanotubes into various building materials, determination of the strength characteristics of building materials depending on the technological input modes, contents and properties of TUBALL nanotubes.

At the present stage of nanotechnology development, the study of the properties of concrete modified by nano-

tubes is also of interest from a scientific and practical point of view [5–7].

There are certain requirements for cement stones. If cement stone is used in wells, it is necessary to change the indicators of water separation and filtration, setting time, thickening time, and to improve sedimentation stability in nanoreinforcing process [8–10].

There are different types of nanoadditives [11–13]. It is most rational to use elongated nanoparticles to improve the physicochemical properties of cement stone [14, 15]. Among them, carbon nanotubes can be distinguished. They have several advantages: high strength, inertness to alkalis and acids, they also well reinforce cement mortar and represent crystallization centers, turn cement composites into high-strength material [16–18].

To modify the structure of cement composites with nanosized particles, two directions are used [19–21]:

- targeted growth of nanoscale particles to modify the structure in a hardening binder system;
- preliminary synthesis of nanosized particles, their subsequent introduction into the desired composition.

Currently, the second method is mostly used, however, due to the high surface activity of nanosized tubes in the synthesis process, they are combined in the form of powdery granules into conglomerates, and this by

the volume of the composite solution makes their uniform distribution difficult. As a result, this technology contributes to the production of a material having a high heterogeneity in density, strength, and other properties [22–24].

MAIN PART

Studies of the effect of nanotubes on the properties of cement mortar, which is a model of heavy concrete, were presented [25, 26]. The cement-sand mortar consisted of cement and sand in a ratio of 1:3. Then it was shut with water from the water supply, and a suspension of carbon nanotubes in a solution consisting of water, a hydrophobizing agent and a mixture of hyperplasticizer was previously mixed in it. Preliminary, all components of the solution were subjected to ultrasonic dispersion to ensure a homogeneous mass of this suspension [27]. The ultrasonic dispersion process lasted 3.5 minutes, the volume of the suspension was 100 ml, and the power was 100 watts. As a hyperplasticizer, an additive with a high early strength set of Remicrete SP 60 based on polycarboxyl ethers was used. As a water-repellent additive, Tiprom-S was used, having an organosilicon composition of 55% concentrate based on potassium alkyl silicone.

TUBALL carbon nanotubular material manufactured by OCSiAl.ru LLC was used as a complex additive with a hydrophobizing agent and hyperplasticizer. Single-walled nanotubes had a specific geometric surface from 90 mg to 130 mg, multilayer nanotubes had a specific geometric surface from 180 mg to 200 mg [5]. The specific surface area was determined with the Bruner-Emmett-Teller (BET) multipoint method.

The optimal dosage of carbon nanotubes in cement concrete was experimentally determined. For single-walled carbon nanotubes, it amounted to 0.005% by weight of the cement composition, and for multilayer carbon nanotubes, it was 0.0005% by weight of the cement composition.

In the process of conducting experimental studies, it was clarified and revealed that the addition of TUBALL carbon nanotubes to the cement composition contributed to the formation of a network structure. This structure, in turn, resists the formation of nanoscale shrinkage cracks in the cement mortar, contributes to the appearance of neoplasms in the form of calcium hydrosilicates, and increases the concentration of calcium ions at the start of the hydration period.

The effect of the studied modified nanosupplements in the composition of the complex additive on the mechanical properties of the cement composition is considered. The complex of mechanical properties of cement nano-reinforced stone in the process of cementing the annular space of production wells by X-ray and thermal analysis methods was also studied, that confirmed electron and optical microscopy experiments [28–30].

In accordance with GOST 310.4-81 «Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compression» experimental work was carried out using cement based on Portland cement clinker CEM III / A 32.5H manufactured by «Ulyanovsk Cement Plant». As a filler of a shallow medium, sand was used from the Kamskoe Ustye deposit, having a particle size modulus of 2.7. The dosage of nano-additives was taken as a percentage of the mass of cement (table 1).

To investigate microstructure of cement a high-resolution Merlin field-emission scanning electron microscope from CARL ZEISS was used, which is applied to measure linear microrelief sizes of solid-state structures. Test chips of the cement composite were sprayed in a 80/20 ratio with an Au / Pd alloy in a Quorum 150 T ES vacuum unit. To conduct fundamental research on the properties of nanomaterials, the analytical equipment of the Center of Nanotechnologies of the Republic of Tatarstan LLC was used – a Smartlab automatic X-ray diffractometer (RIGAKU) and a STA 6000 synchronous thermal analyzer (PERKIN ELMER), which makes it possible to measure thermophysical characteristics (temperature and heat of physicochemical reactions and phase transitions).

Table 1
 Dosage of nano-additives

Number of composition	Supplement dosage, %			
	Hyperplasticizer	Water repellent	Single Layer Carbon Nanotubes	Multilayer Carbon Nanotubes
1	0	0	0	0
2	1	0,1	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0,1	0,005	0
5	1	0,1	0	0,0005

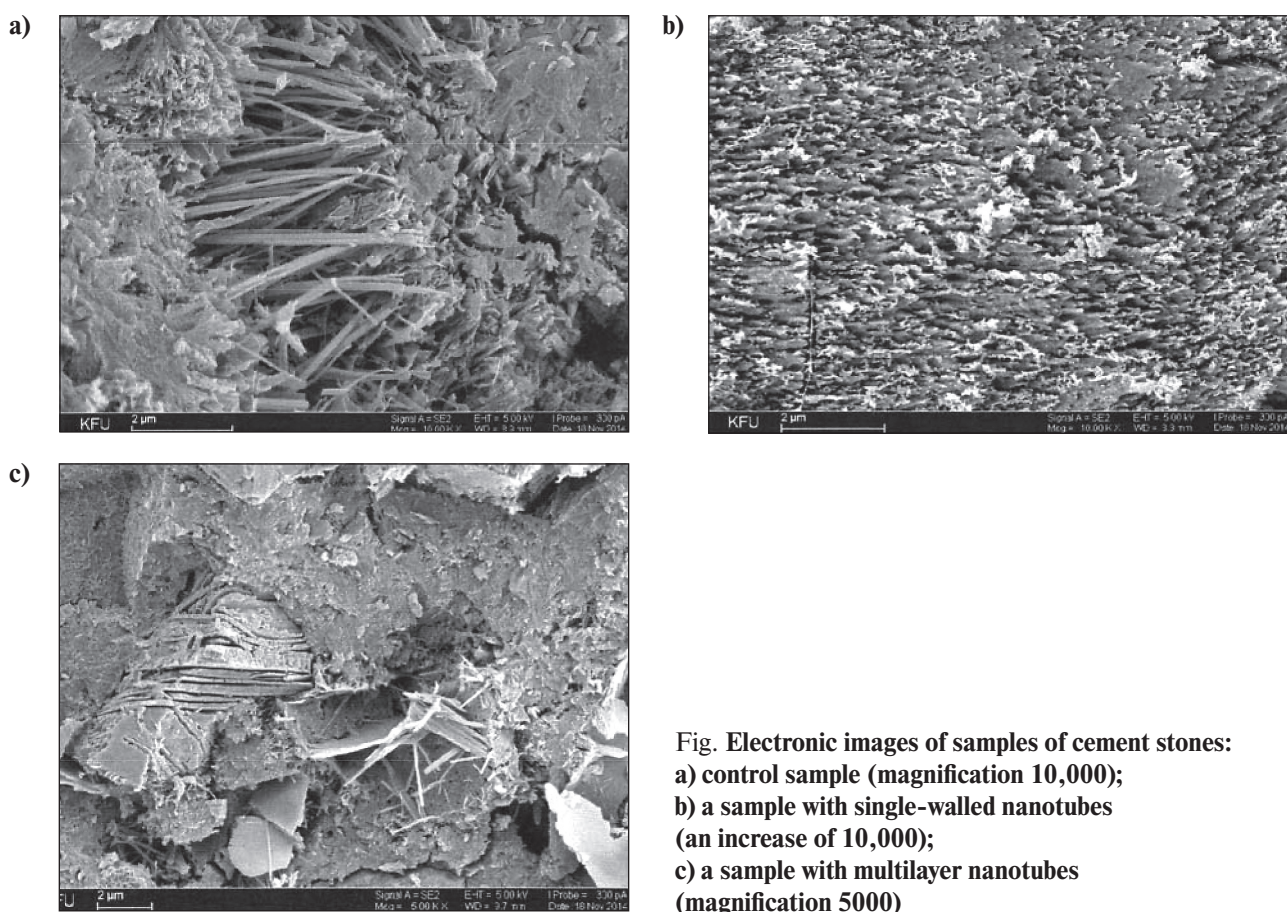


Fig. Electronic images of samples of cement stones:
 a) control sample (magnification 10,000);
 b) a sample with single-walled nanotubes
 (an increase of 10,000);
 c) a sample with multilayer nanotubes
 (magnification 5000)

Using this equipment, the compositions of the hydration products of the modified Tuball nanotubes and the initial cement stones were studied. Electronic images of samples of cement stones are shown in the figure.

An analysis of the figure shows that the addition of carbon single-walled nanotubes promotes the formation of a dense fine-crystalline homogeneous structure in comparison with the control composition of cement

Table 2
 Mechanical properties of modified cement stone

Number of composition	The water-cement ratio of the control sample, %	Strength, MPa			
		under compression		when bending	
		7 days	28 days	7 days	28 days
1	42 100	<u>39,96</u> 100	<u>39,96</u> 100	<u>4,19</u> 100	<u>4,96</u> 100
2	<u>32</u> 76	<u>44,90</u> 122	<u>44,90</u> 122	<u>5,04</u> 130	<u>5,76</u> 126
3	<u>32</u> 76	<u>50,35</u> 129	<u>50,35</u> 129	<u>5,67</u> 135	<u>6,44</u> 130
4	<u>32</u> 76	<u>51,95</u> 146	<u>51,95</u> 146	<u>5,91</u> 141	<u>6,74</u> 136
5	<u>32</u> 76	<u>47,95</u> 119	<u>47,95</u> 119	<u>4,94</u> 118	<u>5,90</u> 119

Note. Numerical values are above the line, relative values in% of the control are below the line.

stone. When carbon multilayer nanotubes are added to the cement composite, the microstructure of the cement sample is characterized by a more loose inhomogeneous structure. The mechanical properties of the modified cement stone are given in table 2.

From the analysis of table 2 it follows that introduction of additives Remicrete SP60 (composition No. 3) to the cement composition increases the strength characteristic when bending the cement after 7 days of normal hardening by 35%, after 28 days by 30%, and under compression, an increase in strength is 42% and 22%, respectively, with respect to the control composition.

The modified cement mortar, in which single-walled carbon nanotubes are dispersed in a solution of hyperplasticizer and water repellent (composition No. 4), showed a maximum increase in strength. The strength characteristics during bending for 7 and 28 days of hardening

increase by 41% and 36%, respectively, with compression, the increase in strength is 55% and 46%, respectively, with respect to the control composition.

The addition of carbon multilayer nanotubes to cement stones compared to single-layer ones is characterized by less effect on the strength of the cement composite, both in bending and in compression (composition No. 5).

CONCLUSION

It was found that the addition of a complex nanomodified additive helps to accelerate the curing of the cement composite at an early stage of hardening, to reduce the value of shrinkage nanocracks, that in turn positively characterizes the quality of the contacts at the cement-casing, rock-cement boundaries.

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования в области нанотехнологий поддерживаются Правительством Российской Федерации и внесены в список приоритетных направлений развития науки и техники. В Республике Татарстан уделяется должное внимание созданию новой продукции, модифицированной нанотрубками [1].

Особый научный практический интерес представляет улучшение эксплуатационных свойств бетона на основе его модификации с добавлением химических добавок, а именно углеродных нанотрубок для производства необходимых импортозамещающих и экспортоориентированных продуктов [2–4].

В соответствии с распоряжением КМ РТ от 16.07.2015г. № 1561 разработан план мероприятий по поддержке создания продуктов на основе одностенных углеродных нанотрубок (TUBALL) на предприятиях Республики Татарстан на 2015–2018 годы, а именно методики введения нанотрубок в различные строительные материалы, определение прочностных характеристик строительных материалов в зависимости от технологических режимов ввода, содержания и свойств нанотрубок TUBALL.

На современном этапе развития нанотехнологий изучение свойств бетона, модифицированного нанотрубками, представляет собой интерес и с научной, и практической точек зрения [5–7].

К цементным камням предъявляются определенные требования. В случае если цементный камень используется в скважинах, то при наноармировании тре-

буется изменить показатели водоотделения и фильтрации, сроков схватывания, времени загустевания, улучшения седиментационной устойчивости [8–10].

Существуют разные виды нанодобавок [11–13]. Наиболее рационально применять вытянутые наночастицы для улучшения физико-химических свойств цементного камня [14, 15]. Среди них можно выделить углеродные нанотрубки. Они обладают рядом достоинств: высокая прочность, инертность к щелочам и кислотам, хорошо армируют цементный раствор, представляют собой центры кристаллизации, превращают цементные композиты в высокопрочный материал [16–18].

Для модифицирования структуры цементных композитов наноразмерными частицами применяются два направления [19–21]:

- целенаправленное выращивание наноразмерных частиц для модифицирования структуры в твердеющей вяжущей системе;
- предварительный синтез наноразмерных частиц, последующее их введение в требуемую композицию.

В настоящее время наибольшее распространение получил второй метод, однако в силу высокой поверхностной активности наноразмерных трубок в процессе синтеза они объединяются в виде порошкообразных гранул в конгломераты, а это по объему композиционного раствора затрудняет их равномерное распределение. В результате эта технология способствует получению материала, имеющего высокую неоднородность по плотности, прочности и другим свойствам [22–24].

1. Экспериментальные исследования наномодифицированного цементного камня

Приводились исследования влияния нанотрубок на свойства цементного раствора, представляющего собой модель тяжелого бетона [25, 26]. Цементно-песчаный раствор состоял из цемента и песка в соотношении 1:3. Далее его затворяли водой из водопровода, а в ней заранее размешивалась суспензия углеродных нанотрубок в растворе, состоящем из воды, гидрофобизатора и смеси гиперпластификатора. Предварительно все компоненты раствора подвергались воздействию ультразвуковой диспергации для обеспечения однородной массы данной суспензии [27]. Процесс ультразвукового диспергирования длился 3,5 минуты, объем суспензии составил 100 мл, а мощность — 100 Вт. В качестве гиперпластификатора применялась добавка с высоким ранним набором прочности Remicrete SP 60 на основе поликарбоксилатэфиров. В качестве гидрофобизирующей добавки использовался Типром-С, имеющий кремнийорганический состав из 55%-ого концентрата на основе алкилсиликоната калия.

В качестве комплексной добавки с гидрофобизатором и гиперпластификатором применялись углеродный нанотубулярный материал TUBALL производства ООО «OCSiAl.ru». Однослойные нанотрубки имели удельную геометрическую поверхность от 90 до 130 мг, многослойные нанотрубки — удельную геометрическую поверхность от 180 до 200 мг [5]. Удельная поверхность определялась по многоточечному методу Брюнера-Эммета-Теллера (БЭТ).

Экспериментально определили оптимальную дозировку углеродных нанотрубок в составе цементного бетона. Для однослойных углеродных нанотрубок она составила 0,005 % от массы цементной композиции, а для многослойных — 0,0005% от массы цементной композиции.

В процессе проведения экспериментальных исследований уточнили и выявили, что добавление углеродных нанотрубок TUBALL в цементную композицию способствовало образованию сетчатой структуры. Эта структура в свою очередь оказывает сопротивление образованию наноразмерных усадочных трещин в цементном растворе, способствует появлению новообразований в виде гидросиликатов кальция, повышает на старте периода гидратации концентрацию ионов кальция.

Рассмотрено влияние исследуемых модифицированных нанодобавок в составе комплексной добавки на механические свойства цементной композиции. Также изучен комплекс механических свойств цементного nanoармированного камня в процессе цементирования затрубного пространства добывающих скважин рентгеновским и термическим методами анализа, что явилось подтверждением экспериментов электронной и оптической микроскопии [28–30].

В соответствии с ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» выполнялись экспериментальные работы с использованием цемента на основе портландцементного клинкера ЦЕМ Ш/А 32.5Н производства «Ульяновский цементный завод». В качестве заполнителя мелкой среды применялся песок из месторождения Камское Устье, имеющий модуль крупности 2,7. Дозировка нанодобавок принималась в процентных соотношениях от массы цементного раствора (табл. 1).

Исследовали микроструктуры цемента. Для этого применяли высокоразрешающий автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп Merlin компании CARL ZEISS, который используется для выполнения измерений линейных микрорельефных размеров твердотельных структур. Пробные сколы цементного композита напыляли в соотношении 80/20 сплавом Au/Pd на вакуумной установке

Таблица 1
Дозировка нанодобавок

Номер состава	Дозировка добавок, %			
	Гиперпластификатор	Гидрофобизатор	Однослойные углеродные нанотрубки	Многослойные углеродные нанотрубки
1	0	0	0	0
2	1	0,1	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0,1	0,005	0
5	1	0,1	0	0,0005

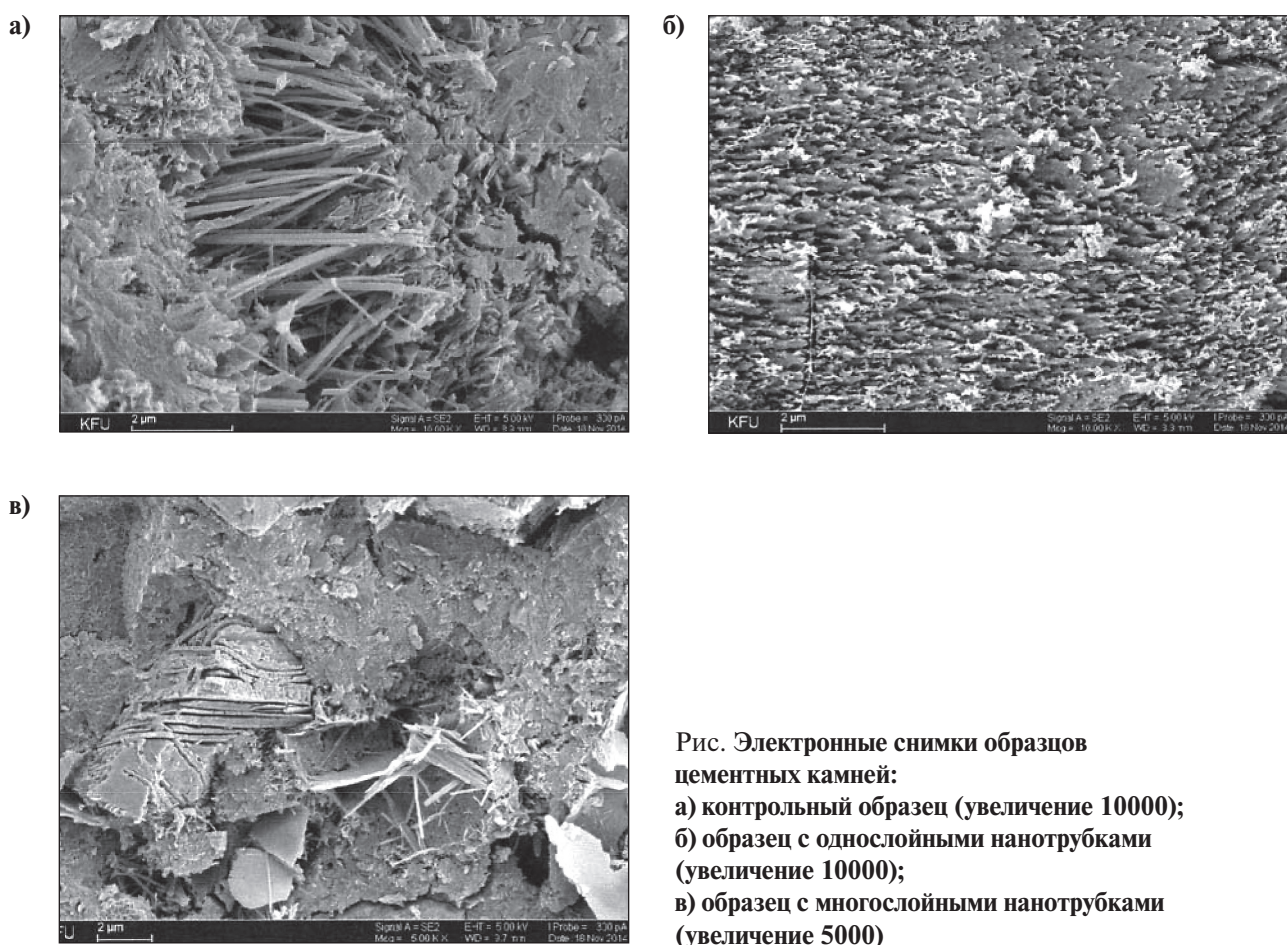


Рис. Электронные снимки образцов цементных камней:
а) контрольный образец (увеличение 10000);
б) образец с однослойными нанотрубками (увеличение 10000);
в) образец с многослойными нанотрубками (увеличение 5000)

Quorum 150 T ES. Для проведения фундаментальных исследований свойств наноматериалов применялось аналитическое оборудование ООО «Центр нанотехнологий Республики Татарстан» – автоматический рентгеновский дифрактометр Smartlab (RIGAKU) и синхронный термоанализатор STA 6000 (PERKIN ELMER), который дает возможность измерять термофизические характеристики (температуру и теплоту физико-химических реакций и фазовых переходов). С помощью этого оборудования изучили составы продуктов гидратации модифицированного нанотрубками Tuball и исходного цементных камней. Электронные снимки образцов цементных камней приведены на рис.

Анализ рис. показывает, что добавление углеродных однослойных нанотрубок способствует образованию плотной мелкокристаллической однородной структуры по сравнению с контрольным составом цементного камня. При добавлении углеродных многослойных нанотрубок в цементный композит микроструктура цементного образца отличается более рыхлой неоднородной структурой. Механические свойства модифицированного цементного камня приведены в табл. 2.

Из анализа табл. 2 следует, что при добавлении в цементный состав добавки с высоким ранним набором прочности Remicrete SP60 (состав № 3) прочностная характеристика при изгибе цементного раствора через 7 суток нормального твердения увеличивается на 35%, через 28 суток – на 30%, а при сжатии повышение прочности составляет соответственно по отношению к контрольному составу 42% и 22%.

Модифицированный цементный раствор, в котором однослойные углеродные нанотрубки диспергированы в растворе гиперпластификатора и гидрофобизатора (состав № 4), показал максимальный прирост прочности. Прочностная характеристика при изгибе на 7 и 28 суток твердения увеличивается на 41% и 36%, соответственно, при сжатии повышение прочности составляет соответственно по отношению к контрольному составу на 55% и 46%.

Добавление углеродных многослойных нанотрубок в цементные камни по сравнению с однослойными характеризуется меньшим влиянием на прочность цементного композита, как при изгибе, так и при сжатии (состав № 5).

Таблица 2

Механические свойства модифицированного цементного камня

Номер состава	Водоцементное отношение контрольного образца, %	Прочность, МПа			
		при сжатии		при изгибе	
		7 суток	28 суток	7 суток	28 суток
1	<u>42</u> 100	<u>39,96</u> 100	<u>39,96</u> 100	<u>4,19</u> 100	<u>4,96</u> 100
2	<u>32</u> 76	<u>44,90</u> 122	<u>44,90</u> 122	<u>5,04</u> 130	<u>5,76</u> 126
3	<u>32</u> 76	<u>50,35</u> 129	<u>50,35</u> 129	<u>5,67</u> 135	<u>6,44</u> 130
4	<u>32</u> 76	<u>51,95</u> 146	<u>51,95</u> 146	<u>5,91</u> 141	<u>6,74</u> 136
5	<u>32</u> 76	<u>47,95</u> 119	<u>47,95</u> 119	<u>4,94</u> 118	<u>5,90</u> 119

Примечание. Над чертой – числовые значения, под чертой – относительные значения в % от контрольных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что добавление комплексной нано-модифицированной добавки способствует ускорению набора прочности цементного композита на ранней

стадии твердения, уменьшению значения усадочных нанотрещин, что в свою очередь положительно характеризует качество контактов на границах цемент-обсадная колонна, порода-цемент.

REFERENCES

1. Khavkin A.Ya. Nanoyavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefti i gaza [Nanophenomena and nanotechnologies in oil and gas production]. Moscow – Izhevsk, NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», Institut komp'yuternykh issledovaniy [SIC «Regular and chaotic dynamics», Institute for Computer Studies], 2010, 692 p. (In Russian).
2. Korolev E. V. Osnovnye printsipy prakticheskoy nanotekhnologii V stroitel'nom materialovedenii [The basic principles of practical nanotechnology in building materials]. Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal [Nanotechnology in Construction: A Scientific Internet-Journal], 2009, no. 1, pp. 66–79. (In Russian).
3. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Izryadnova O.V., Khasanov O.L. Strukturirovanie ангидридов матриц углеродными наносистемами [Structuring anhydride matrices with carbon nanosystems]. Materialy XV Akademicheskikh chteniy RAASN [Materials of the XV Academic Readings of the RAACS], 2010, pp. 294–298. (In Russian).
4. Roko M.K., Williams R.S., Alivatos P. Nanotekhnologii v blizhaysheye desyatiletie. Prognoznyye napravleniya issledovaniy [Nanotechnology in the coming decade. Forecast areas of research]. Moscow, Mir [World], 2002, 292 p. (in Russian).
5. Foster L.E. Nanotekhnologii. Nauka, innovatsii i vozmozhnosti [Nanotechnology. Science, Innovation and Opportunity]. Moscow, Tekhnosfera [Technosphere], 2008, 352 p. (In Russian).
6. Dixon J.B. Diversity of natural nanoparticles in soils and causative factors implied. Mineralogia - Special Papers: 4th Mid-European Clay Conference MECC, Zakopane, Poland, 2008, pp. 54.
7. Brat S., Singh P. Use of Nanorobots in Oil Industry. Maharashtra Institute of Technology. SPE Mumbai Section, 2006.
8. Falikman V.R. Nanomaterialy i nanotekhnologii v sovremennykh betonah [Nanomaterials and nanotechnologies in modern concretes]. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo [Industrial and civil engineering], 2013, no. 1, pp. 31–34. (In Russian).
9. Ponomarev A.N. Nanobeton – ponyatiye i problemy. Sinergizm nanostrukturirovannykh tsementnykh vyazhushchikh i anizotropnykh dobavok [Nanocrete – the concept and problems. Synergism of nanostructuring cement binders and anisotropic additives]. Stroitel'nyye materialy [Construction materials], 2007, no. 6. (In Russian).
10. Voytovich V.A., Khryapchenkova I.N. Nanobeton v stroitel'stve [Nanocrete in construction]. Stroitel'nyye materialy [Construction materials], 2016, no. 9, pp. 73–75. (In Russian).
11. Patrikeev L.N. Nanotekhnologii v energetike [Nanotechnologies in power engineering]. Nanoindustriya [Nanoindustry], 2008, no. 2, pp. 14–15. (In Russian).

12. Detlef B., Klaus S. Chemomechanical processing – the innovative way of integrating nanoparticles into industrial products. PETROTECH, New Delhi, India. 2009. p. 286.
13. Zaporotskova I.V. Uglerodnyye i neuglerodnyye nanomaterialy i kompozitnyye struktury na ikh osnove: stroyeniye i elektronnyye svoystva [Carbon and non-carbon nanomaterials and composite structures based on them: structure and electronic properties]. Volgograd. Izd-vo Volgogradskogo gos. un-va (Publishing house of the Volgograd State the university), 2009, 488 p. (In Russian).
14. Shah K.A., Najar F.A., Andrabi S.M.A., Islam S.S. Synthesis of carbon nanotubes for device applications. Asian Journal of Chemistry, 2017, vol. 29, no. 4, pp. 879–881.
15. Danoglidis P.A., Falara M.G., Maglogianni M., Konsta-Gdoutos M.S. Scalable processing of cementitious composites reinforced with carbon nanotubes (CNTs) and carbon nanofibers (CNFs). Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 1, pp. 20–27. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-20-27.
16. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Kodolov V.I., Krutikov V.A., Fisher F.-B., Kerene Ya. Modifikatsiya porizovannykh tsementnykh matrits uglerodnymi nanotrubkami [Modification of porous cement matrices with carbon nanotubes]. Stroitel'nye materialy [Construction materials], 2009, no. 3, pp. 99–102. (In Russian).
17. Rayfti, S., Chegini, E. K. Highly selective and green oxidation of sulfides with urea hydrogen peroxide in the presence of MN (III) porphyrin supported onto carbon nanotubes. Macroheterocycles, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 151–155. DOI: 10.6060/mhc151101r.
18. Khusein S.M.R.H., Hanfar A. Uglerodnyye nanotrubki: problemy i perspektivy ikh ispolzovaniya [Carbon nanotubes: problems and prospects for their use]. Uspekhi sovremennoy nauki [Advances in modern science], 2017, vol. 4, no. 4, pp. 166–169. (In Russian).
19. Mazurenko V.V., Rudenko A.N., Mazurenko V.G. Nanochastitsy, nanomaterialy, nanotekhnologii. Uchebnoye posobiye [Nanoparticles, nanomaterials, nanotechnologies. Tutorial]. Yekaterinburg. Federal'noye agentstvo po obrazovaniyu, Ural'skiy gos. tekhnicheskii un-t – UPI im. pervogo Prezidenta Rossii B. N. Yel'tsina [Federal Agency for Education, Ural State Technical University – UPI them. first President of Russia B. N. Yeltsin], 2009, 83 p. (In Russian).
20. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Uglerodnyye nanomaterialy. Proizvodstvo, svoystva, primeneniye [Carbon nanomaterials. Production, properties, application]. Moscow, Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 2008. (In Russian).
21. Shevchenko V.Ya. Institut khimii silikatov RAN. Issledovaniya v oblasti nanomira i nanotekhnologiy [Institute of Silicate Chemistry RAS. Research in the field of nanoworld and nanotechnology]. Rossiyskiye nanotekhnologii [Russian nanotechnology], 2008, vol. 3, no. 11–12, pp. 36–45. (In Russian).
22. Kehl A.V. Fullereny i uglerodnyye nanotrubki [Fullerenes and carbon nanotubes]. Innovatsionnaya nauka [Innovation science], 2016, № 11-3, pp. 23–25. (In Russian).
23. Salamatov V.I., Vasilyeva K.S. Uglerodnyye nanotrubki – osnova perspektivnykh nanomaterialov [Carbon nanotubes - the basis of promising nanomaterials]. Zhiznennyy tsikl konstruksionnykh materialov (ot polucheniya do utilizatsii): materialy dokladov V Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Life cycle of structural materials (from production to disposal): materials of reports of the Vth All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation], 2015, pp. 247–254. (In Russian).
24. Lebeda Yu.V. Uglerodnyye nanotrubki: ikh svoystva i metody modifikatsii [Carbon nanotubes: their properties and methods of modification]. Nedelya nauki SPbGPU: materialy XLII nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [SPbGPU Science Week: Proceedings of the XLII Scientific Practical Conference with international participation], 2014, pp. 30–32. (In Russian).
25. Tang Q., Huang J., Tian G. Dispersion of carbon nanotubes and research progress on mechanical properties of carbon nanotubes cement-based composites. Gongneng Cailiao, 2017. vol. 48, no. 6, pp. 42–49.
26. László I., Gyimesi B., Koltai J., Kürti J. Molecular dynamics simulation of carbon structures inside small diameter carbon nanotubes. Physica Status Solidi (B): Basic Solid State Physics, 2017, vol. 254, no. 11, pp. 170–206.
27. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Rakhimov R.Z., Tkachev A.G. Ultrazvukovaya obrabotka – effektivnyy metod dispergirovaniya uglerodnykh nanotrubok v ob'eme stroitel'nogo kompozita [Ultrasonic processing is an effective method for dispersing carbon nanotubes in the bulk of a composite composite]. Stroitelnye materialy [Construction materials], 2013, no. 2, pp. 57–59. (In Russian).
28. Kiyamov I.K., Mingazov R.Kh., Vakhitova R.I., Kiyamova L.I., Sibgatullin A.A., Saracheva D.A., Mazankina D.V. K voprosu ob issledovanii tamponazhnykh rastvorov na osnove uglerodnykh nanotrubok i ikh vliyaniya na fazovyy sostav tsementnogo kamnya pri stroitel'stve skvazhin [On the study of cement slurries based on carbon nanotubes and their influence on the phase composition of cement stone in the construction of wells]. Materialy nauchnoy sessii uchenykh Al'met'yevskogo gosudarstvennogo neftyanogo institute [Materials of the scientific session of scientists of the Almet'yevsk State Oil Institute], 2016, no. 2, pp. 48–50. (In Russian).
29. Semenov V.A., Rusakov S.V., Buzmakova M.M. Issledovaniye anizotropnoy provodimosti epoksidnogo polimera, modifitsirovannogo uglerodnymi nanotrubkami [Study of the anisotropic conductivity of epoxy polymer modified with carbon nanotubes]. Sbornik trudov 8-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem im. I.F. Obratsova i YU.G. Yanovskogo [Collection of works of the 8th All-Russian Scientific Conference with international participation. I.F. Obratsova and Yu.G. Yanovsky], 2019, pp. 92–95. (In Russian).
30. Guz A.N., Rushchitskii Y.Y. Nanomaterials: on the mechanics of nanomaterials. International applied mechanics, 2003, vol. 39, no. 11, pp. 1271–1293. DOI: 10.1023/B:INAM.0000015598.53063.26.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа. — Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. — 692 с.
2. Королев Е.В. Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // Нанотехнологии в строительстве. — 2009. — № 1. — С. 66–79.
3. Маева И.С., Яковлев Г.И., Изряднова О.В., Хасанов О.Л. Структурирование ангидридовых матриц углеродными наносистемами // Материалы XV Академических чтений РААСН. — 2010. — С. 294–298.
4. Роко М.К., Уильямс Р.С., Аливатос П. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. — М: Мир, 2002. — 292с.
5. Фостер Л.Э. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности — М: Техносфера, 2008. — 352с.
6. Dixon J.B. Diversity of natural nanoparticles in soils and causative factors implied // Mineralogia — Special Papers: 4th Mid-European Clay Conference MECC, Zakopane, Poland, 2008, pp. 54.
7. Brat S., Singh P. Use of Nanorobots in Oil Industry. Maharashtra Institute of Technology, SPE Mumbai Section, 2006.
8. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 1. — С. 31–34.
9. Пономарев А.Н. Нанобетон — концепция и проблемы. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и анизотропных добавок // Строительные материалы. — 2007. — № 6.
10. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Нанобетон в строительстве // Строительные материалы. — 2016. — № 9. — С. 73–75.
11. Патрикеев Л.Н. Нанотехнологии в энергетике // Наноиндустрия. — 2008. — № 2. — С. 14–15.
12. Detlef B., Klaus S. Chemomechanical processing — the innovative way of integrating nanoparticles into industrial products // PETROTECH, New Delhi, India, 2009, pp. 286.
13. Запорожкова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства. — Волгоград: Изд-во Волгоградского гос. ун-ва, 2009. — 488с.
14. Shah K.A., Najari F.A., Andrabi S.M.A., Islam S.S. Synthesis of carbon nanotubes for device applications // Asian Journal of Chemistry, 2017, vol. 29, no. 4, pp. 879–881.
15. Danoglidis Panagiotis A., Falara Maria G., Maglogianni Myrsini, Konsta-Gdoutos Maria S. Scalable processing of cementitious composites reinforced with carbon nanotubes (CNTS) and carbon nanofibers (CNFS) // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 20-27. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-20-27.
16. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Ф. — Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы. — 2009. — № 2. — С. 99–102.
17. Rayfti, S., Chegini, E. K. Highly selective and green oxidation of sulfides with urea hydrogen peroxide in the presence of MN (III) porphyrin supported onto carbon nanotubes // Макрогетероциклы. — 2016. — Т. 9. — №2. — С. 151–155. DOI: 10.6060/mhc151101r.
18. Хуссейн С. М. Р. Х., Ханфар А. Углеродные нанотрубки: проблемы и перспективы их использования // Успехи современной науки. — 2017. — Т. 4 — № 4. — С. 166–169.
19. Мазуренко В.В., Руденко А.Н., Мазуренко В.Г. Наночастицы, наноматериалы, нанотехнологии. Учебное пособие. — Екатеринбург: Федеральное агентство по образованию, Уральский гос. технический ун-т — УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2009. — 83 с.
20. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. — М: Машиностроение, 2008.
21. Шевченко В.Я. Институт химии силикатов РАН. Исследования в области наномира и нанотехнологий // Российские нанотехнологии. — 2008. — Т. 3, № 11–12. — С. 36–45.
22. Кель А.В. Фуллерены и углеродные нанотрубки // Инновационная наука. — 2016. — № 11-3. — С. 23–25.
23. Саламатов В.И., Васильева К.С. Углеродные нанотрубки - основа перспективного наноматериала // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. — Иркутск, 2015. — С. 247–254.
24. Лебеда Ю.В. Углеродные нанотрубки: их свойства и методы модификации // Неделя науки СПбГПУ: материалы XLII научно-практической конференции с международным участием. — Санкт-Петербург, 2014. — С. 30–32.
25. Tang Q., Huang J., Tian G. Dispersion of carbon nanotubes and research progress on mechanical properties of carbon nanotubes cement-based composites // Gongneng Cailiao, 2017. vol. 48, no. 6, pp. 42–49.
26. László I., Gyimesi B., Koltai J., Kürti J. Molecular dynamics simulation of carbon structures inside small diameter carbon nanotubes // Physica Status Solidi (B): Basic Solid State Physics, 2017, vol. 254, no. 11, pp. 170–206.
27. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Рахимов Р.З., Ткачев А.Г. Ультразвуковая обработка — эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита // Строительные материалы. — 2013. — № 2. — С. 57–59.
28. Киямов И.К., Мингазов Р.Х., Вахитова Р.И., Киямова Л.И., Сибгатуллин А.А., Сарачева Д.А., Мазанкина Д.В. К вопросу об исследовании тампонажных растворов на основе углеродных нанотрубок и их влияния на фазовый состав

цементного камня при строительстве скважин // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. — 2016. — № 2. — С. 48–50.

29. Семенов В. А., Русаков С. В., Бузмакова М. М. Исследование анизотропной проводимости эпоксидного полимера, модифицированного углеродными нанотрубками // Сборник трудов 8-й Всероссийской научной конференции с международным участием им. И.Ф. Образцова и Ю.Г. Яновского. — 2019. — С. 92–95.

30. Guz A.N., Rushchitskii Y.Y. Nanomaterials: on the mechanics of nanomaterials // International applied mechanics, 2003, vol. 39, no. 11, pp. 1271–1293. DOI: 10.1023/B:INAM.0000015598.53063.26.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vakhitova Roza II., PhD in Engineering, Associate Professor, Department «Electrical and Thermal Power Engineering, Almet'yevsk State Oil Institute»; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, roza-w@mail.ru;

Saracheva Diana A., PhD in Engineering, Senior Lecturer, Department «Electrical and Thermal Power Engineering», Almet'yevsk State Oil Institute; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, sarachevadiana85@mail.ru;

Mazankina Daria V., Senior Lecturer, Department «Electrical and Heat Power Engineering», Almet'yevsk State Oil Institute; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, daria-mazankina@yandex.ru;

Kiyamov Ilgam K., Engineering Institute, Doctor of Economics, Professor, Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Kazan (Volga Region) Federal University; Kremlin st., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 420008, kiyamov.ilgam@mail.ru;

Sabitov Linar S. Engineering Institute, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Kazan (Volga Region) Federal University; Kremlin st., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 420008, sabitov-kgasu@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вахитова Роза Ильгизовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, roza-w@mail.ru

Сарачева Диана Азатовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

Мазанкина Дарья Владимировна, старший преподаватель кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, daria-mazankina@yandex.ru

Киямов Ильгам Киямович, доктор экономических наук, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия и управление инновациями», Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет; ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420008, kiyamov.ilgam@mail.ru;

Сабитов Линар Салихзанович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Биомедицинская инженерия и управление инновациями», Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет; ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420008, sabitov-kgasu@mail.ru

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-577-586

UDC 622.245

Self-healing cements – the key to maintaining the integrity of cement sheath. Part 1

Authors:

Farit A. Agzamov,

Professor of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, faritag@yandex.ru;

Elvira R. Ismagilova,

MSc (UK, University of Salford), PhD student of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, yusupova_elvira@mail.ru

Abstract: To control water production, it is necessary to seal the channels of 20–25 mm thickness in the cement sheath at a depth of hundreds and thousands of meters. The most promising solution is the use of self-healing cements.

The concept of self-healing materials has been known since the 1980s due to the studies of Donald Jud. The most fundamental works are by Sybrand van der Zwaag, Sheba D. Bergman and Fred Wudl, Richard P. Wool, D.Y Wu, N.R. Sottos, Erin B. Murphy, Henk Jonkers, who substantiated the concept, suggested technologies and additives to restore the integrity of polymer and cement materials.

Despite active research in this area, Schlumberger is the only service company which elaborated and successfully applied the «self-healing» well cement called Futur.

The authors of the article set the task of well cement modification that enables autonomous «healing» of water-conducting channels through which formation water migrates.

The following materials were used in the study: polyacrylamide (PAA), water-swelling polymer (VNP V-615), sodium polyacrylate (SP), cross-linked PAA copolymers, active waterproofing mineral additives and swelling elastomers. Most of the additives have a degree of swelling of more than 150%, they effectively reduce a permeability of the cement stone, however multi-layer coating is required to control the speed of their swelling. A significant drawback of the analyzed materials was the complexity of the coating.

A cross-linked AA copolymer based on anionic polycrylamide was the most effective reagent, which was easy to cover with a water-soluble shell. The cement stone with integrated agent of AA copolymer demonstrated a permeability of 0.0018 μm^2 with the strength of the samples for bending at the age of 2 days equal to 8.0 MPa.

Keywords: cement stone, water passages, water absorbing reagents, modifying additives, triggering mechanism, autonomous cement sheath repair, self-healing cements.

For citation: Agzamov F.A., Ismagilova E.R. Self-healing cements – the key to maintaining the integrity of cement sheath. Part 1. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 577–586. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-577-586.

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

`
Self-healing cements – the key to maintaining the integrity of cement sheath. Part 1. by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</code>`

The paper has been received by editors: 28.08.2019.

The paper has been received by editors after peer-review: 20.09.2019.

The paper has been accepted for publication: 29.09.2019.

Самозалечивающиеся цементы – ключ к сохранению герметичности крепи скважин. Часть 1

Авторы:

Агзамов Фарит Акрамович,

профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»;
г. Уфа, Россия, faritag@yandex.ru;

Исмагилова Эльвира Римовна,

магистр нефтегазового дела (Великобритания, Университет Сэлфорда),
аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; г. Уфа, Россия,
yusupova_elvira@mail.ru

Резюме: Для ограничения водопитока в скважинах необходимо герметизировать каналы в цементном кольце толщиной 20–25 мм, на глубине сотен и тысяч метров. При этом наиболее перспективным решением является применение самозалечивающихся цементов.

Работы по получению самовосстанавливающихся материалов начались с 1980-х годов, с работ Дональда Джуда. Широко известность получили работы Сибрандван дер Цваага, Шеба Д. Бергмана и Фреда Вудла, Ричарда П. Вула, Д.И. Ву, Н.Р. Соттоса, Эрина Б. Мерфи, Хенка Джонкерса, которые обосновали концепции, предложили технологии и добавки для восстановления герметичности полимерных и цементных материалов. Несмотря на активное развитие этого направления исследований, только компания Шлюмберге остается единственной, разработавшей и успешно применяющей для цементирования скважин «самозалечивающийся» цемент «Futur».

Авторами статьи ставилась задача модифицирования тампонажных цементов, способных к автономному «залечиванию» водопроводящих каналов притока пластовой воды.

В исследованиях использованы полиакриламид (ПАА), водонабухающий полимер (ВНП В-615), полиакрилат натрия (ПАН), сшитые сополимеры ПАА, активные гидроизолирующие минеральные добавки и набухающие эластомеры. Большинство добавок имеет степень набухания более 150%, они эффективно снижают проницаемость цементного камня, но для регулирования скорости их набухания необходимы многослойные оболочки, создание которых является существенным недостатком большинства материалов.

Наиболее эффективным реагентом явился сшитый сополимер АА на основе анионного полиакриламида, легко покрывающийся водорастворимой оболочкой. Цементный камень с добавкой сополимера АА имел проницаемость 0,0018 мкм² при прочности на изгиб в возрасте 2-х суток 8,0 МПа.

Ключевые слова: цементный камень, водопроводящие каналы, самовосстанавливающиеся материалы, триггерный механизм, автономное самовосстановление цементного камня.

Для цитирования: Агзамов Ф.А., Исмагилова Э.Р., Самозалечивающиеся цементы – ключ к сохранению герметичности крепи скважин. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 11, № 5. – С. 577–586. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-577-586.

Машиночитаемая информация о CC-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

`
Self-healing cements – the key to maintaining the integrity of cement sheath. Part 1. by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License
Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/
Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/" rel="cc:morePermissions">http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/`

Статья поступила в редакцию: 28.08.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 20.09.2019.

Статья принята к публикации: 29.09.2019.

INTRODUCTION

The history of uneven-aged wells operation reveals the vulnerability of cement stone while being exposed to high dynamic loads and inner pressures as well as to aggressive formation water seepage [1]. However, there is a possibility to maintain the integrity of well lining as long as an appropriate modification of well cement is chosen. Many Russian and foreign scientists set the task of well cement modification using special additives which can effectively seal the space between the borehole wall and the casing, as well as eliminate channeling thus preventing the formation of a system of cracks and behind-the-casing leaks. The most promising solution of the channel mending is the use of self-healing cements.

MAIN PART

Historical review

The concept of self-healing polymeric materials has been known since the 1980s. In 1981 Donald Jud featured a possibility of healing stealth micro-cracks for prolongation the service life of the polymeric components [2].

The first articles, which further inspired scientists of the entire world, were «Passive smart self-repair in polymer matrix composite materials» published in Virginia, USA [3] and «Autonomic healing of polymer composites» [4], which demonstrated successful attempts to assess regularity of crack prolongation within polymeric materials and the ability of range of polymeric materials to repair the crack. In 2003 a group of researchers from different American universities demonstrated a self-healing fiber-reinforced structural polymer, which was a matrix composite material with microencapsulated chemical catalyst and was exposed to the crack propagation and room temperature [5]. Since that time, a period of interest in self-healing mechanism and materials searching had risen, attracted different organizations from architecture, civil engineering to US air force [6] and European Space Agency [7], which largely invested in self-healing polymers studies.

The first overview of wide spectrum of self-healing materials was written by professor of Delft University of Technology Dr. Sybrand van der Zwaag, who described categories, different design approaches and factual structural abilities of such materials as ceramics, polymers and metals [8]. The confident self-healing studies of Delft University provided to the university holding the First International Conference on Self-healing Materials in the Netherlands, 2007. At the same time a group of American researchers developed a concept of effective size encapsulating of self-healing polymers, comparing to a possible max size of crack thus carried out the desirable response of healing effect to damage [9].

In the journal of Materials Chemistry issued in 2008, Dr. Sheba D. Bergman and Professor Fred Wudl, based on the property of reversibility they fully described the mend ability of polymers [10]. The same results were confirmed and supplemented by the research group of the University of Warwick, which proceeded the study of intrinsic healing in polymers in more details [11]. Professor Richard P. Wool contributed into the material science described mechanical and thermally induced damage and healing for polymers, based on the related area of polymer-polymer interfaces [12]. The team of D.Y. Wu, in their article described the fracture mechanism and concept of healing in polymeric systems, also proposed methods for evaluating self-healing efficiencies [13]. The full spectrum of self-healing applications was summed up in the papers of Chinese researchers [14]. The team of reputable and experienced in these matters N.R. Sottos presented to the public a new concept of «Bio-inspired materials for self-cleaning and self-healing», which demonstrated perspective on self-repair through integrated bio systems and damage-triggering autonomic response [15]. The first «Potential application of self-healing materials in the construction industry» was officially reported by the group of researchers from the Cardiff University, which underlined durability issues relating to cement materials and anticipated a great demand for self-healing concrete [16].

However, Schlumberger is the only petroleum service company so far that devised advanced cement called Futur and applied it to well cementing successfully. Moreover, the role of repair activator in the Futur system hydrocarbons plays. In case of cracks emergence in the cement stone, the first gas shows and after that formation fluid comes, some constituents of hydrocarbons interact with special additives in cement stone, thus within several hours of activation a cement sheath is restored to the original strength and durability. The crack is sealed, no more fluid migration can be detected [17].

The overview of Erin B. Murphy, Fred Wudl then encompassed «The world of smart healable materials». The study presented a deep view of the field of stimuli-responsive healable materials, beginning with a description of the healing of polymeric materials, shortly discussing the regular methodics for mending and maintenance of composite materials [18].

In the Annual review of Material Researches, a group of honoured authors reported a new approach toward safe, long durable class of elastomers and different ways of material coating [19]. From 2010 most of the literature was devoted to the problems of encapsulation and transportation of different healing reagents [20, 21, 22] and inhibitors for corrosion protection [23, 24]. Almost nine years were spent by the Delft University research group working under the control of microbiologist Henk Jonkers, to devise a self-healing concrete, the successful application of which

was announced in May, 14 2015. The concept is in species of bacillus bacteria incorporation into the concrete. These bacteria are encapsulated in biodegradable plastics that will only burst open when interact with water. After being exposed to water, the bacteria feeds on calcium lactate and produce calcium precipitate, which is homogeneous to cement material thus because of the adhering properties is perfect as cement bonding material [25]. As the author claims, the product will fit best for constructing underground retainers for hazardous waste, but also will faultless serve for tunnel-lining, structural basement walls, highway bridges, concrete floors and marine structures.

Self-healing science accounts almost 35 years of study. However, the biggest breakthrough has been done over less than 15 years. It is explained by the development of new route of engineering and chemical science called nanotechnology, which allowed manipulation atomic structure and size in order to create a new product.

The most fundamental studies were carried out by researchers of USA and Netherlands. The range of healable materials was identified, mechanism of self-healing process, design approaches, transportation of mending agent, encapsulation, triggering mechanism, living environment of healing agents, methods for evaluating self-healing efficiencies, functional testing conditions all these and many others sides were enlightened.

Self-healing systems found application in various fields. They were successfully adopted by construction engineering. However, this “smart” cement system is a new tendency for petroleum industry, thus requires more detail study of triggering-healing mechanisms. Consequently, there is a sharp relevance of setting the system with special properties in order to ensure the reliable operation in complex reservoir conditions.

The requirements to materials used for self-healing cements production

The authors of the article set the task of searching for the range of materials most suitable for well cement modification that enables autonomous “healing” of water-conducting channels which appear in the cement stone due to various technological operations. The requirements for the cement modifying additives were set in accordance with the influence of alternating temperatures, high pressures, humidity and periodic dynamic loads to which a cased well is usually exposed.

We believe that they can be formulated as follows:

- the presence of a durable multilayer shell, which should prevent premature swelling of the additive during the cement slurry mixing and injection;
- the activation starts not earlier than after 6 hours after cementing ends;
- the duration of self-healing effect – until the complete stoppage of the water flow;

- the ability to block cracks ranging in size from 50 to 150 microns;
- the continued ability to repeat the activation on the periodic occurrence of the defects;
- no effect on the technological properties of the cement slurry and cement stone.

Objects of the research

We believe that the water-swellaable additive wrapped in a water-soluble coating is firmly fixed in the pores of the cement stone and cannot be washed out by water. When a system of cracks is formed enabling formation water passes through, then the additive is to swell thus filling the entire volume of the cavity and shutting down a crack through which the water filters [26].

The next materials were substantiated and afterwards used in the study: polyacrylamide (PAA), water-swellaable polymer (VNP V-615), sodium polyacrylate (SP), cross-linked PAA copolymers, active waterproofing mineral additives and swelling elastomers.

The suitability for water absorbing was substantiated for the each material; the experiments outcomes of the materials swelling kinetics were demonstrated, as well as the resistance to mechanical destruction.

Polyacrylamide (PAA) technical $[-CH_2CH(CONH_2)-]_n$, is a copolymer of polyacrylamide with acrylates at a content of not more than 10%; it is made of acrylonitrile $CH_2=CH-CN$, which upon hydrolysis in the presence of sulfuric acid yields acrylamide and partially acrylic acid. Low molecular weight species PAA can be used to as additives for the well sealing and cement stone filtration reduction. High molecular weight species PAA are suitable for creation the elastic and durable film possessing high flocculation ability. There are temperature limitations, since PAA is thermally stable up to 100°C.

Water-swellaable polymer is a single macromolecule sewn from molecular chains. An elastic net is formed by the chains and the bonds between them, which in a dry gel or partially filled with water is twisted and tightly packed in a small volume of grains, for this the osmotic pressure is a water-absorbing mechanism. The particle size of WSP granules – no more than 2 mm, density ranges from 1150 to 1200 kg/m³. Powdered WSP swells in fresh water increasing in the volume by 80–100 times, and in formation water (with mineralization of 150 gram per liter and more) – by 50–60 times. The process of swelling and WSP expansion does not depend on the pressure applied to it; it is also resistant to the influence of temperature (up to 170°C).

Sodium polyacrylate (SP) is a sodium salt of polyacrylic acid with the chemical formula $[-CH_2CH(COONa)-]_n$ and is an anionic polyelectrolyte with a negatively charged carboxyl group in the main chain. One of the main prop-

erties of the compound is the ability to absorb liquids 200–300 times its weight. Sodium polyacrylate is well soluble in water; it easily swells, and therefore is a good thickener and gelling agent.

Waterproofing mineral additives (WMA) can also be used for the cement stone sealing restoration. WMA's pozzolanic activity is determined by the presence of amorphous silica in the composition, which interacts with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, forming highly dispersed calcium hydrosilicates with enhanced binding properties, which contributes to both increasing the strength of the stone and reducing the size of pores, as well as reduces the cement stone permeability. Acid ashes act in the same way, the pozzolanic reaction of which begins at the age of concrete of 7–14 days, and most of the reaction takes place within 30 and 90 days [28].

Highly dispersed WMA, such as silica fume, metakolin most actively interacts with lime at an early age of 3 days. The high chemical activity of silica fume leads to the fact that, according to some data, 25–30% silica fume by cement mass can completely bind $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the cement stone, whereas 60% ash by cement mass approximately 3–4% lime remains in the free state.

Water swellable elastomers are rubbers and rubber compounds, which operate on the principle of osmosis, the water is drawn into the elastomer and after retained therein due to differential salinity across the elastomer surface [29]. Swelling elastomers-polymers have highly elastic properties, – by adjusting the recipe of elastomer compositions, the dynamics of swelling in a particular medium can be set (up to 400% or more), – the swelling rate, the operating temperature, the physical and mechanical requirements of the product, etc.

Cross-linked copolymer AA is a superabsorbent based on anionic polyacrylamide. It is a water-insoluble cross-linked copolymer of acrylamide and potassium acrylate. The polymers contain a set of polymer chains parallel to each other. They are regularly connected by cross-linking agents, forming a grid. When water contacts one of these chains, it is drawn into the polymer molecule by osmosis. Thus, water is stored, quickly migrating into the polymer network. The cross-linked AA copolymer absorbs the amount of water up to 500 times its mass, turning into gels.

CONCLUSION

Thereby, the performed studies have shown:

- the cement stone in oil and gas wells is known to be the most vulnerable element of the lining, which can be easily destructed during technological operations carrying out inside the well, and there is almost the only way to restore the cement stone integrity which is in the usage of “self-healing” cement;
- analysis of foreign experience in the elaboration and application of self-healing materials demonstrated the high efficiency in various industries, as well as showed a possibility of the successful application for oil and gas wells cementing;
- requirements for materials which can be used as modifying additives for self-healing cements were substantiated;
- various types of polymeric materials were substantiated and analyzed, and it was shown the crosslinked copolymer AA, which is superabsorbent based on anionic polyacrylamide, meets the most requirements.

ВВЕДЕНИЕ

История эксплуатации разновозрастных скважин показывает, что цементный камень является наиболее уязвимым звеном и способен легко разрушаться под действием динамических нагрузок и давлений, действующих изнутри обсадной колонны, от воздействия агрессивных пластовых флюидов, действующих со стороны горных пород [1]. Однако существует возможность сохранения целостности крепи скважины при соответствующей модификации цементов. Задачу по улучшению качества цементного камня с использованием специальных добавок, способного эффективно герметизировать пространство между стенкой скважины и обсадной колонны, а также устранять каналообразование

до момента образования системы трещин и заколонной циркуляции воды (ЗКЦ), ставят перед собой многие российские и иностранные ученые. Одним из перспективных решений указанной задачи является применение «самозалечивающихся» цементов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исторический обзор

Концепция самовосстанавливающихся полимерных материалов известна с 1980-х гг. В 1981-м году Дональд Джуд в своей работе отразил возможность исцеления невидимых микротрещин с целью prolongation срока службы полимерных компонентов [2].

Первыми статьями, которые продемонстрировали способность ряда полимерных материалов «самозалечивать» трещину, были «Пассивное умное самовосстановление в полимерных матричных композиционных материалах», опубликованная в Вирджинии, США [3], и «Автономное исцеление полимерных композитов» [4], где были обнародованы успешные попытки оценить закономерность разрастания трещины в полимерных материалах и их восстановление. В 2003 году группа исследователей из разных американских университетов продемонстрировала самовосстанавливающийся армированный волокнами структурный полимер, который представлял собой матричный композитный материал с микрокапсулированным химическим катализатором, подвергавшийся трещинообразованию при комнатной температуре [5]. С тех пор многократно возрос интерес, связанный с поиском материалов и исследованием механизма самовосстановления, притянув внимание различных стратегически важных организаций — от архитектурных агентств, гражданского строительства до ВВС США [6] и Европейского космического агентства [7], которые вложили значительные средства для проведения исследований самовосстанавливающихся полимеров.

Первый обзор широкого спектра самовосстанавливающихся материалов был написан профессором Делфтского технического университета, доктором Сибранд ван дер Цвагом, который описал категории, различные подходы к разработке и фактические строительные способности таких материалов, как керамика, полимеры и металлы [8]. Наиболее убедительные исследования, связанные с явлением самовосстановления материалов, были продемонстрированы Делфтским техническим университетом во время проведения в 2007 году «Первой международной конференции по самовосстанавливающимся материалам», проходившей в Нидерландах. В то же время группа американских исследователей разработала концепцию эффективного размера частиц инкапсулированных самовосстанавливающихся полимеров, которые были соразмерны максимально возможному размеру трещины, таким образом, результат исследований продемонстрировал достижение желаемого восстановительного эффекта [9].

В журнале «Химия материалов», опубликованном в 2008 году, доктор Шеба Д. Бергман и профессор Фред Вудл, основываясь на свойстве обратимости, полностью описали способность полимеров к восстановлению [10]. Те же результаты были подтверждены и дополнены исследовательской группой из Университета Варвика, которая более детально изучила явление самовосстановления в полимерах [11]. Профессор Ричард П. Вул внес вклад в материаловедение, описав механическое и термическое

повреждение и заживление полимеров [12]. Команда Д.И. Ву в своей статье описала механизм разрушения и концепцию заживления в полимерных системах, а также предложила методы оценки эффективности самовосстановления [13]. Полный спектр применения самовосстанавливающих способностей материалов был обобщен в работах китайских исследователей [14]. Команда авторитетных и опытных исследователей под руководством Н.Р. Соттоса представила общественности новую концепцию «Биоинспирированных материалов для самоочищения и самовосстановления», которая продемонстрировала перспективу самовосстановления с помощью интегрированных биосистем и автономного реагирования на повреждения [15]. Первое «Потенциальное применение самовосстанавливающихся материалов в строительной отрасли» было официально опубликовано группой исследователей из Университета Кардиффа, которая вынесла проблемы долговечности цементных материалов и предсказала высокий спрос на самовосстанавливающиеся бетоны [16].

Однако на сегодняшний день компания Шлюмбергер является единственной нефтесервисной компанией, разработавшей и успешно применяющей «самозалечивающийся» цемент Futur, который активно применяется для цементирования скважин. Кроме того, роль триггерного механизма для активации цементной системы Futur выполняют углеводородные газы. Таким образом, при появлении трещин в цементном камне, некоторые компоненты проникнувшего углеводородного газа вступают в контакт со специальными добавками, интегрированными при затворении цемента, после их взаимодействия ранее поврежденный цементный камень восстанавливается до первоначального вида, сохраняя исходную прочность. Цементное кольцо герметизируется в течение нескольких часов, после чего миграции жидкости не происходит [17].

Обзор Эрин Б. Мерфи и Фреда Вудла охватил «Мир умных исцеляющих материалов». В их исследовании представлен глубокий взгляд на область самовосстанавливающихся материалов, представлены некоторые активаторные механизмы и способы залечивания каналов, вкратце обсуждается долговечность и многократность использования композитных материалов [18].

В «Ежегодном обзоре исследований новых материалов» группа авторитетных авторов сообщила о новом подходе к разработке безопасного, долговечного класса эластомеров, а также о различных способах нанесения покрытий на материалы [19]. С 2010 года значительный объем исследований был посвящен проблемам инкапсуляции и транспортировки различных самозалечивающих агентов [20, 21, 22], а также ингибиторов для защиты от коррозии [23, 24].

Почти девять лет группой ученых из Делфтского технического университета под руководством микробиолога профессора Хенка Джонкера проводились исследования и разработка самовосстанавливающегося бетона, успешное применение которого было объявлено 14 мая 2015 года. Концепция данной разработки заключалась в введении особенного вида бактерий бацилл в состав строительного бетона и обеспечении им питательной среды. Эти бактерии были заключены в биоразлагаемый пластик, который разлагался при взаимодействии с водой. После того, как капсулы с бактериями подвергались воздействию воды, бактерии начинали питаться лактатом кальция и производить отложения кальция, которые в свою очередь являются гомогенными по отношению к цементному материалу, демонстрируя идеальную адгезию к последнему. Соответственно, прочно сцепляясь с базовым материалом, продукт жизнедеятельности бацилл перекрывал канал, тем самым блокируя путь миграции газа [25]. Как утверждает автор разработки, его продукт лучше всего подходит для строительства подземных хранилищ опасных отходов, а также для прокладки подземных туннелей, фундаментов, автодорожных мостов, бетонных перекрытий и гидротехнических сооружений.

Наука, изучающая материалы и механизмы самовосстановления, существует уже более 35 лет, однако самый большой прорыв был сделан менее чем за 15 лет. Это объясняется развитием нового направления инженерной и химической наук, название которому нанотехнология, которое дает возможность работать со структурой атома и, подвергая его различным манипуляциям, создавать новый продукт.

Так, основополагающие исследования были проведены учеными из США и Нидерландов. Американцами был определен спектр материалов, демонстрирующих способности к самовосстановлению; изучен механизм автономного самозалечивания. Голландцами разработаны способы инкапсулирования самозалечивающих агентов, их транспортировка до места назначения, триггерные механизмы, среды обитания самозалечивающих агентов, методы оценки эффективности самовосстановления, условия для тестирования их функциональной пригодности и мн. др.

Самовосстанавливающиеся системы нашли свое применение в различных областях, особенно были успешно применены в промышленном строительстве. Однако подобная «умная» цементная система является новой тенденцией для нефтяной промышленности, поэтому требует более детального изучения механизмов активации и восстановления. В том числе требуется задание системе специальных свойств, обеспечивающих ее надежное функционирование в сложных пластовых условиях.

Требования к материалам для получения самозалечивающихся цемента

Авторами данной статьи ставилась задача по определению спектра материалов, наиболее пригодных для модифицирования тампонажных цемента для придания им способностей к автономному «залечиванию» водопроводящих каналов, появляющихся в цементном камне внутри скважины в процессе проведения различных технологических операций. Исходя из воздействия знакопеременных температур, высоких давлений, влажности и периодических динамических нагрузок, приходящихся на крепь скважины, были определены требования к свойствам добавок, используемых для модификации цемента, применяемых при креплении.

Мы полагаем, что их можно сформулировать следующим образом:

- наличие прочной многослойной оболочки, которая должна предотвратить преждевременное набухание добавки на этапе приготовления и закладки цементных растворов;
- начало активации водопоглощения не ранее, чем через 6 часов после окончания цементирования;
- длительность эффекта самозалечивания - до полного прекращения поступления воды;
- способность перекрывать трещины размером от 50 до 150 мкм;
- сохранение способности многократного действия на периодическое возникновение дефектов;
- отсутствие влияния на технологические свойства тампонажного раствора и цементного камня.

Объекты исследования

Мы полагаем, что, находясь в порах цементного камня, водонабухающая добавка, обернутая водорастворимой оболочкой, жестко закрепляется в порах и не вымывается водой. При образовании системы трещин и поступлении пластовой воды добавка должна набухать, заполняя весь объем полости, что не позволит воде фильтроваться через цементный камень [26].

Для проведения исследований обоснованы и выбраны следующие материалы: полиакриламид (ПАА), водонабухающий полимер (ВНП В-615), полиакрилат натрия (ПАН), сшитые сополимеры ПАА, активные гидроизолирующие минеральные добавки и набухающие эластомеры.

Для каждого материала обоснована его пригодность в качестве водопоглотителя, также представлены результаты экспериментов по определению кинетики набухания материалов и стойкости механическому разрушению.

Полиакриламид (ПАА) технический $[-CH_2CH(CONH_2)-]_n$, представляет собой сополимер поли-

акриламида с акрилатами при содержании последних не более 10%, производится из нитрила акриловой кислоты $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CN}$, который при гидролизе в присутствии серной кислоты дает акриламид и частично акриловую кислоту. Низкомолекулярные разновидности ПАА могут быть использованы для создания добавок с целью герметизации и снижения фильтрации цементного камня, высокомолекулярные разновидности ПАА подходят для создания эластичной и прочной пленки с высокой флокулирующей способностью. Существуют температурные ограничения, поскольку ПАА термически устойчив до 100°C.

Водонабухающий полимер представляет собой единые макромолекулы, сшитые из молекулярных цепочек. Цепочки и связи между ними образуют упругую сетку, которая в сухом геле или частично наполненном водой скручена и плотно упакована в небольшом объеме крупинки, для которых осмотическое давление является водопоглотительным механизмом. Размер частиц гранул ВВП — не более 2 мм, плотность от 1150 до 1200 кг/м³. Порошкообразный ВВП набухает во времени в пресной воде в 80–100 раз, а в пластовой воде (с минерализацией 150 г/литр и больше) — в 50–60 раз по объему. Процесс набухания и расширения ВВП не зависит от давления на него, также он стоек к воздействию температуры (до 170°C).

Полиакрилат натрия — натриевая соль полиакриловой кислоты, имеет химическую формулу вида $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{COONa})-]_n$ и представляет собой анионный полиэлектролит с отрицательно заряженной карбоксильной группой в основной цепи. Одним из основных свойств соединения является способность абсорбирования жидкости в 200–300 раз больше собственного веса. ПАН хорошо растворяются в воде, при этом легко набухают, поэтому являются хорошими загустителями и гелеобразователями.

Гидроизолирующие минеральные добавки (ГМД) также можно применять для восстановления герметичности цементного камня. Пуццолановая активность ГМД определяется присутствием в их составе аморфного кремнезема, который взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя высокодисперсные гидросиликаты кальция с повышенными вяжущими свойствами, что способствует как увеличению прочности камня, так и уменьшению размеров пор, что снижает проницаемость цементного камня. Такой активностью обладают, например, кислые золы, пуццолановая реакция которых начинается в возрасте бетона 7–14 суток, а основная ее часть протекает в период 30–90 дней [28].

Высокодисперсные ГМД, такие как микрокремнезем, метакраин наиболее активно взаимодействуют с известью в раннем возрасте, начиная с 3 суток.

Высокая химическая активность микрокремнезема приводит к тому, что, по некоторым данным, 25–30% его от массы цемента могут полностью связать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне, тогда как при 60% золы примерно 3–4% его остается в свободном состоянии.

Водонабухающие эластомеры — это каучуки и резиновые смеси, которые работают по принципу осмоса, и вода втягивается в эластомер и удерживается в нем из-за перепада солености поперек поверхности эластомера [29]. Набухающие эластомеры-полимеры обладают высокоэластическими свойствами. Регулируя рецепт эластомерных композиций, можно задавать динамику набухания в конкретной среде (до 400% и более), скорость набухания, температуру эксплуатации, физико-механические требования изделия и т.д.

Сшитый сополимер АА — суперабсорбент на основе анионного полиакриламида. Он представляет собой нерастворимые в воде сшитые сополимеры акриламида и акрилата калия. Полимеры содержат набор полимерных цепочек, параллельных друг другу. Они регулярно соединены сшивающими агентами, образуя сетку. Когда вода контактирует с одной из этих цепочек, она втягивается в молекулу полимера благодаря осмосу и сохраняется, быстро мигрируя внутрь полимерной сетки. Сшитый сополимер АА абсорбирует количество воды до 500 раз больше своей массы, переходя в гели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненные исследования показали:

- цементный камень в нефтяных и газовых скважинах, являясь наиболее уязвимым элементом крепи, легко разрушается при проведении технологических операций внутри скважины, и практически единственным способом восстановления его герметичности является применение самозалечивающихся цементов;
- анализ зарубежного опыта разработки и применения самовосстанавливающихся (самозалечивающихся) материалов, имеющих высокую эффективность в различных отраслях промышленности, показал, что они не могут использоваться при креплении нефтяных и газовых скважин;
- обоснованы требования к материалам, которые могут быть использованы в качестве модифицирующих добавок к самозалечивающимся цементам;
- обоснованы и проанализированы различные виды полимерных материалов и показано, что в наибольшей степени предъявляемым требованиям отвечает сшитый сополимер АА, являющийся суперабсорбентом на основе анионного полиакриламида.

REFERENCES

1. Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S. Dolgovechnost' tamponazhnogo kamnya v korrozionno-aktivnyh sredah [Oil well stone durability in corrosive environments]. Saint-Petersburg. 2005. 317 p. (In Russian).
2. Donald Jud G. and James M. Watts. Land Economics. 1981. Vol. 57, issue 3. P. 459–470.
3. Dry, C. and Sottos, N.R. Passive smart self-repair in polymer matrix composites. In Smart Structures. 1993: Smart Materials, V.K. Varadan, ed., Vol. SPIE 1916. P. 438–444.
4. White, S.R. et al. Autonomic healing of polymer composites. Nature. 2001 — 409(6822). P. 794–797.
5. Kessler, M.R., Sottos, N.R. & White, S.R. Self-healing structural composite materials. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2003. 34(8). P.743–753.
6. Carlson, H.C. & Goretta, K.C., Basic materials research programs at the U.S. Air Force Office of Scientific Research. Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology. 2006. 132(1–2). P. 2–7.
7. Semprimosching C. Enabling self-healing capabilities — a small step to bio-mimetic materials. European Apace Agency Materials Report Number. 2006. 4476.
8. S. van der Zwaag. Self-Healing Materials: an Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science. Springer. 2007. 387 p.
9. Rule, J.D., Sottos, N.R. & White, S.R., Effect of microcapsule size on the performance of self-healing polymers. Polymer. 2007. 48(12). P. 3520–3529.
10. Bergman, S.D. & Wudl, F. Mendable polymers. Journal of Materials Chemistry. 2008. 18(1), P. 41.
11. Syrett, J.A., Becer, C.R. & Haddleton, D.M. Self-healing and self-mendable polymers. 2010. P. 978–987.
12. Wool, R.P. Self-healing materials. A review. Soft Matter. 2008. Vol. 4(3). P. 400.
13. Wu, D.Y., Meure, S. & Solomon, D. Self-healing polymeric materials: A review of recent developments. Progress in Polymer Science. 2008. 33(5). P. 479–522.
14. Yuan, Y.C. et al., Self healing in polymers and polymer composites. Concepts, realization and outlook: A review. Express Polymer Letters. 2008. 2(4). P. 238–250.
15. Youngblood J.P. & Sottos N.R. Bioinspired Materials for Self-Cleaning and Self-Healing. MRS Bulletin. 2008. 33(08). P. 732–741.
16. Joseph, C. & Lark, R., Potential application of self-healing materials in the construction industry A report for the Institution of Civil Engineers Tony Jefferson and Diane Gardner. Construction. 2009. (June).
17. Nelson E. Cement Chemistry and Additives. Schlumberger OilField Review. 2008. P. 18–25
18. Murphy E.B. & Wudl F. The world of smart healable materials. Progress in Polymer Science (Oxford). 2010. 35(1–2). P. 223–251.
19. Blaiszik B. & Kramer, S., Self-healing polymers and composites: Supplemental. Annual Review of Materials Research. 2010. P. 1–4.
20. Szabó, T. et al. Self-healing microcapsules and slow release microspheres in paints. Progress in Organic Coatings. 2011. 72(1–2). P. 52–57.
21. Zhao, Y. et al. Self-healing coatings containing microcapsule. Applied Surface Science. 2012. 258(6). P. 1915–1918.
22. Blaiszik, B.J. et al. Microencapsulation of gallium-indium (Ga-In) liquid metal for self-healing applications. Journal of microencapsulation. 2014. 2048. P.2013–2014.
23. Zhao, Y. et al. The self-healing composite anticorrosion coating. Physics Procedia. 2011. Vol. 18. P. 216–221.
24. Montemor, M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. Surface and Coatings Technology. 2014. 258. P. 17–37.
25. Jonkers, H., Self-Healing Concrete by Bacterial Mineral Precipitation. 2015.
26. Ismagilova E.R., Agzamov F.A. Razrabotka dobavok v «samozalechivayushchiesya» cementy dlya vosstanovleniya germetichnosti cementnogo kol'ca neftyanyh i gazovyh skvazhin [Development of additives in “self-healing” cements to restore the cement stone integrity in oil and gas wells]. Burenie i Neft' [Drilling and Oil]. Moscow. 2016. № 5. P. 24–29. (In Russian).
27. Ismagilova E.R., Agzamov F.A., Abbas A.J. Optimization of self-healing additives dispersity in cement. Georesursy = Georesources. 2017. V. 19. No. 2. P. 129–134. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.7>.
28. Zotkin A.G. Betony s effektivnymi dobavkami [Concrete with effective additives]. Teaching manual. Moscow. Infra-Engineering, 2014. 160 p. (In Russian).
29. Shahmin A.M. Nabuhayushchie elastomernye pakery [Swelling elastomer packers]. Molodaya neft': sb. statej. Vseros. molodezhnoj nauch.-tekhn. konf. neftegazovoj otrasli. [Young Oil: Sat. articles. All-Russia. youth science-tech. conf. oil and gas industry]. Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ, 2014. (In Russian).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С. Долговечность тампонажного камня в коррозионно-активных средах. — СПб. — 2005. — 317 с.
2. Donald Jud G. and James M. Watts. Land Economics. — 1981. — vol. 57, issue 3. — P. 459–470.
3. Dry C. and Sottos N. R. Passive smart self-repair in polymer matrix composites. In Smart Structures. — 1993: Smart Materials, V.K. Varadan, ed., vol. SPIE 1916. — P. 438–444.
4. White, S.R. et al. Autonomic healing of polymer composites // Nature. — 2001. — 409(6822). — P. 794–797.

5. Kessler, M.R., Sottos, N.R. & White, S.R. Self-healing structural composite materials. // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. — 2003. — 34(8). — P. 743–753.
6. Carlson, H.C. & Goretta, K.C., Basic materials research programs at the U.S. Air Force Office of Scientific Research // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology. — 2006. — 132(1–2). — P. 2–7.
7. Semprinosching C. Enabling self-healing capabilities - a small step to bio-mimetic materials. // European Apace Agency Materials Report Number. — 2006. — 4476.
8. S. van der Zwaag. Self-Healing Materials: an Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science. Springer. — 2007. — 387 p.
9. Rule, J.D., Sottos, N.R. & White, S.R., Effect of microcapsule size on the performance of self-healing polymers // Polymer. — 2007. — 48(12). — P. 3520–3529.
10. Bergman, S.D. & Wudl, F. Mendable polymers. // Journal of Materials Chemistry. — 2008. — 18(1), P. 41.
11. Syrett, J. a., Becer, C.R. & Haddleton, D.M. Self-healing and self-mendable polymers. — 2010. — P. 978–987.
12. Wool, R.P. Self-healing materials. a review // Soft Matter. — 2008. — Vol. 4(3). — P. 400.
13. Wu, D.Y., Meure, S. & Solomon, D. Self-healing polymeric materials: A review of recent developments. // Progress in Polymer Science. — 2008. — 33(5). — P. 479–522.
14. Yuan, Y.C. et al., Self healing in polymers and polymer composites. Concepts, realization and outlook: A review. Express Polymer Letters. — 2008. — 2(4). — P. 238–250.
15. Youngblood J.P. & Sottos N.R. Bioinspired Materials for Self-Cleaning and Self-Healing // MRS Bulletin. — 2008. — 33(08). — P.732–741.
16. Joseph, C. & Lark, R. Potential application of self-healing materials in the construction industry A report for the Institution of Civil Engineers Tony Jefferson and Diane Gardner. Construction. — 2009. — (June).
17. Nelson E. Cement Chemistry and Additives // Schlumberger OilField Review. — 2008. — P.18–25.
18. Murphy E.B. & Wudl F. The world of smart healable materials // Progress in Polymer Science (Oxford). — 2010. — 35(1–2). — P. 223–251.
19. Blaiszik B. & Kramer S. Self-healing polymers and composites: Supplemental // Annual Review of Materials Research. — 2010. — P. 1–4.
20. Szabó, T. et al. Self-healing microcapsules and slow release microspheres in paints // Progress in Organic Coatings. — 2011. — 72(1–2). — P. 52–57.
21. Zhao, Y. et al. Self-healing coatings containing microcapsule // Applied Surface Science. — 2012. — 258(6). — P. 1915–1918.
22. Blaiszik, B.J. et al. Microencapsulation of gallium-indium (Ga-In) liquid metal for self-healing applications. // Journal of microencapsulation. — 2014. — 2048. — P. 2013–2014.
23. Zhao, Y. et al. The self-healing composite anticorrosion coating // Physics Procedia. — 2011. — Vol. 18. — P. 216–221.
24. Montemor, M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances // Surface and Coatings Technology. — 2014. — 258. — P. 17–37.
25. Jonkers, H., Self-Healing Concrete by Bacterial Mineral Precipitation. 2015.
26. Исмаилова Э.Р., Агзамов Ф.А. Разработка добавок в «самозалечивающиеся» цементы для восстановления герметичности цементного кольца нефтяных и газовых скважин // Бурение и Нефть. — 2016. — № 5. — С. 24–29.
27. Исмаилова Э.Р., Агзамов Ф.А., Аббас А.Д. Оптимизация дисперсности добавок в самозалечивающихся цемент-тах // Георесурсы. — 2017. — Т. 19, № 2. — С. 129–134.
28. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. — М.: Инфра-Инженерия, 2014. — 160 с.
29. Шахмин А.М. Набухающие эластомерные пакеры // Молодая нефть: сб. статей. Всерос. молодежной науч.-техн. конф. нефтегазовой отрасли. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Farit A. Agzamov, Doctor of science, Professor of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, faritag@yandex.ru;

Elvira R. Ismagilova, MSc (UK, University of Salford), PhD student of Professor of the Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, yusupova_elvira@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агзамов Фарит Акрамович, д.т.н., проф., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, faritag@yandex.ru;

Исмаилова Эльвира Римовна, магистр нефтегазового дела (Великобритания, Университет Сэлфорда), аспирант кафедры «Бурения нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, yusupova_elvira@mail.ru

CONTACTS / КОНТАКТЫ

e-mail: faritag@yandex.ru

ON THE OBSERVANCE OF PUBLISHING ETHICS BY THE EDITORS OF ELECTRONIC EDITION «NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A SCIENTIFIC INTERNET-JOURNAL» AND THE STATEMENT OF PREVARICATION ABSENCE.

ON THE USE OF THE CONTENT IN ACCORDANCE WITH CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION».

DECLARATION OF THE OPEN ACCESS JOURNAL.

General statements

These are the principle ethical regulations which are observed by the editors of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal»:

1. Editorial Council, Editorial Board and the editorial staff follow the politics aimed at observance of ethical publishing principles and admit that controlling observance of ethical publishing principles is one of the main tasks in reviewing and publishing activities.

2. No plagiarism is allowed. That concerns the case when the author submits published or unpublished paper by other authors under his name as well as the case when the author misappropriates one's ideas. If the author uses the fragments borrowed from other sources in his paper, he should make a reference to these sources. The examples of the references are given in the section «For the authors».

3. The editors publish the papers of the authors from all countries and of all nationalities who deal with the problem determined by the editorial policy.

4. The editors don't cooperate with the authors who have ever been caught in plagiarism in his papers submitted to the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» or other editions if this fact will be revealed.

5. The editors use software to reveal plagiarism related to the papers available in Internet.

6. The editors will be grateful to the readers for any information concerning revealed elements of plagiarism and breaking of ethical rules by the authors. This information will be published in the edition.

7. The editors undertake obligations not to publish papers appealing for terrorism and containing xenophobia and offences of other authors or citizenry.

8. At least three experts evaluate quality of the paper. External blind paper review is performed by two invited experts with corresponding specialty and Doctor degree. The editors send paper to the experts without author's information and the review form to fill. The papers are reviewed for free and voluntary. In case of positive external review the paper is sent to a member of Editorial Council or Editorial Board for further evaluation. The paper is recommended for publication in case of three positive review.

9. Among the requirements to be met by the reviewers there is plagiarism elements disclosure. The reviewers' duties are given in the section «For the reviewers».

10. Unreviewed papers or editorial materials are marked by proper references.

11. The journal allows authors to keep author's rights and their rights on publication without restrictions.

12. The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution». This kind of license allows other people to distribute, edit, correct and base on the work of the authors, even with commercial purpose, while the authors mention them as co-authors. The license is recommended to distribute widely and use licensed materials. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

13. Declaration of the Open Access journal. The editors follow the politics of «open access» for the published materials. According to the Budapest Open Access Initiative (BOAI) the editors consider free access to the published materials in Internet and the right of each user to read, download, copy, distribute, print, search or link to the full

text papers, search with indexer robot, enter them as data in software or use them for other legal purpose without financial, law or technical obstacles excluding those that regulate access to the Internet itself. The only restriction for reproduction and distribution and the only condition of copyright in this area must be the author's right to control the entity of his work and obligatory links to his name when his work is used and cited.

Articles from the journal (article metadata) are available in open access:

- on the website of the electronic publication «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Online-Journal», link – http://nanobuild.ru/en_EN/archieve-of-issues/;
- in the full-text database of open-access scientific journals Open Academic Journals Index (OAJI), link – <http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931>;
- on the website of the scientific electronic library, link – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760>;
- in the database of scientific journals Directory of Open Access Journals (DOAJ), link – <https://doaj.org/>, next – the journal is searched «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- in the database of scientific journals ResearchBib, link – <http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545>;
- on the Internet resource of scientists of all scientific disciplines ResearchGate, link – https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- in the international scientific base Readera – <https://readera.ru/nanobuild>;
- in other citation systems (databases).

That allows scientists and specialists all over the world to study journal's materials and to use them in their work as well as to cite them.

Every paper must contain the following information: place of work (university (institute), enterprise and other types of organizations, city, and country), position, academic degree, academic title, full postal address and email that allows scientists and specialists from different countries to contact authors.

Each paper is assigned UDC, DOI and metadata of the paper contains machine-readable information on CC-licenses (HTML-code), other identifiers of the materials.

14. The detailed information about publication ethics, the material reviewing procedure, license principles, declaration of Open Access journal, observance of author and joint rights to follow is presented in international standards, laws of the Russian Federation, professional codes, and guidelines. One of them is International standards of the Committee on Publication Ethics (COPE), licenses Creative Commons, Budapest Open Access Initiative, the guidelines for Elsevier's reviewers, Civil Code of Russian Federation (item IV), the law of RF «On mass media», the law of RF «On the advertisement», Code of the journalist professional ethics, Code of scientific publication ethics etc.

For the editor-in-chief

Decision on Paper Publication. The editor-in-chief of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» is responsible for making a decision which of submitted papers are to be published in the journal. This decision always must be based on the examination of paper reliability and its importance for scientists and readers. The editor-in-chief may be guided by methodical recommendation elaborated by the editorial council and the editorial board of the journal. He also may take into account legal requirements, such as exclusion of libel, infringement of copyright and plagiarism. When making decision on the publication, the editor-in-chief may consult with the members of editorial council, editorial board or reviewers.

Justice. The editor-in-chief evaluates submitted papers by the intellectual content, regardless of the race, sex, sexual preference, religion, ethnic origins, citizenship and political views of the author.

Confidentiality. The editor-in-chief, editorial staff, members of the editorial council must not disclose information on the submitted manuscript to the third person except for the author, reviewers, potential reviewers, the editorial council's consultants, and the publisher.

Disclosure and Conflict of Interests. The information contained in the submitted paper cannot be used in the paper of the editor-in-chief, members of the editorial council or editorial board without author's written permission. Confidential information or ideas obtained during review must be kept in secret and must not be used for self-profit.

The editor-in-chief should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, cooperation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.

The editor-in-chief should ask all authors to present information on the certain competitive interests and publish corrections if the conflict of the interests has been revealed after the publication. If necessary another appropriate action such as publication of disproof or expression of a concern can be performed.

Examination of complaints of ethnic character. The editor-in-chief should take reasoned and prompt measures if he gets complaints of ethnic character in respect to the submitted manuscript or issued paper, contacting with the editors and publisher.

For the reviewers

Review of the paper (review) assists the editor-in-chief to take decisions on the publication of it, and the reviewers' criticism can help the author to improve his paper (review). The editors of electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» appoint reviewers from the members of the editorial council, editorial board or engage outside experts. Review is aimed at evaluation of scientific importance and novelty of the submitted manuscript. The authors of the submitted manuscripts recognize expediency and necessity of the review. Having agreed to do review, the future reviewer undertakes the following obligations.

Promptness. The persons addressed by the members of the editorial staff through the editor-in-chief in respect to the review of scientific papers, have ethical obligations concerning the efficiency of review. If it is not possible to present the review within the given period, one must inform the editor-in-chief about that and new reviewer is appointed.

Confidentiality. Each manuscript submitted to the review is to be reviewed as a confidential document. It is not to be examined and discussed with the third persons, except for those appointed by the editor-in-chief.

Neutrality. The reviews must be done impartially. No personal accusations for the author are allowed. The reviewer should express his point of view in a clear and reasoned way.

The reference evaluation. The fact that there are no references in the manuscript should be marked and considered by the reviewer. If the manuscript partially or completely coincides with the publications known by the reviewer and the references to these publications are absent, that must be pointed out by the reviewer. The examples of the bibliographic references are given in the section «For the authors».

Plagiarism disclosure. In the case of suspicion of paper duplication or plagiarism the reviewer should point out this fact in his review.

Ethical rules. Confidential information and ideas of reviewed paper must not be disclosed. Materials of the reviewed paper must not be used for reviewer's self-profit. The reviewer follows the rule according to which he doesn't use ideas and statements obtained from the reviewed paper in his own work and publications without written permission of the author.

The reviewer should not review the paper if there is a conflict of the interests evolving from competition, cooperation or other relations with someone from the authors, companies and organizations which are related to the paper.

On request the editors may forward reviews to the Higher Certification Committee of the RF, as well as to the international citation systems (databases) to evaluate the quality of the papers and review procedure in general.

In particular, the editors confirm their permit to transfer and publish the following materials on website of Scientific electronic library eLIBRARY.RU together with License materials of the journal:

- texts of reviews for library's users;
- surnames and information on reviewers for library's users.

For the authors

1. The authors submit to the editors:

- electronic manuscript (by email info@nanobuild.ru) performed according to the paper format guidelines for text and graphical materials given in **Appendix 1**. The topics of published materials must correspond to the topics stated by the editors of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» in **Appendix 2**. The format of submitted papers must be done according to the structure given in **Appendix 3**.

- accompanying letter (the editors send the sample of the letter to the authors on demand).

The authors of the materials published in the journal permit using their content according to the license Creative Commons CC-BY «Attribution»; agree that each paper is assigned UDC, DOI and that metadata of the paper contains machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) and another identifiers of the materials; agree to publish full texts (parts or metadata) of the paper in free access in Internet at the official website of the edition (www.nanobuild.ru), Scientific electronic library eLIBRARY.RU, citation systems (data bases): ISSN, Russian Index of Scientific Citation, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef, ProQuest et al.

All that authors indicate in the cover letter. More details about the license Creative Commons CC-BY are available here <http://creativecommons.ru/>.

2. The paper should reflect the results of original research and its relation to the previous research performed by the author himself or other scientists. The relation to other research can be presented directly in the body of the paper as well as in the form of the references to the previous sources. If the author uses the material from other publications, the paper must contain the references to these materials. The references follow the body of the paper. The examples of the references are given in **Appendix 4**.

When writing a paper, one should follow the principles of professional ethics, be competent, objective and answerable.

3. The editors, the editorial council or the editorial board may ask the authors to present all first primary sources and materials relating to the submitted paper. Materials must be kept for 1 year after the paper has been published.

4. Every paper published in the journal is peer-reviewed to confirm its originality and correspondence to paper format guidelines. The use of other scientists' results and thoughts must be done in a proper form. No plagiarism is allowed. The authors must confirm the fact that the paper is published for the first time or they ask to publish it for the second time.

5. The information obtained in informal way, for example, in private discussion or correspondence, cannot be presented in the paper without written permission of the source of information. The information which source is a private activity, in particular, reviewing of manuscripts or grant applications, cannot be used in the paper without written permission of the authors.

6. Republication of the paper on the editorial council's (or editorial council's) own initiative is made in agreement with the authors, editors and holder of the intellectual property right on the paper. In the case of the paper republication the publisher is to make a statement on that.

To submit a paper with co-authors is possible if all persons indicated as co-authors made their contribution to development of the concept, design, performance or interpretation of the described research.

If the contribution of a person who cooperated on the research described in the paper is not enough significant to regard him as a co-author, he should be acknowledged in the paper.

The paper publication for post-graduates is free of charge.

7. The contact author must provide reading and approval of the final version of the paper by all co-authors, as well as their approval to the publication.

8. In the case of conflict of interests including potential one the author or co-authors must inform the editors as soon as possible. When a principle mistake or inaccuracies have been revealed in the issued paper by the author himself, he must urgently inform the executive editor and render editor-in-chief efficient assistance to publish disproof or correction. If the editor-in-chief gets the information on the serious mistake contained in the paper from the third person, the author must present urgent disproof of that at the same time producing proofs of his rightfulness to the executive editor (or to the editor-in-chief) and provide necessary changes.

9. The authors should be aware of the fact that the editors, the editorial council and the editorial board of the electronic edition «Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal» take the responsibility for the assistance to scientific community to observe all aspects of publishing ethics, particularly in the cases of paper duplication or plagiarism.

10. The authors of the published materials are responsible for the reliability of the given information and the use of the data which are not to be issued in public. The editors have the right to make corrections. The editors' opinion can be different from the authors' opinion; the materials are published to discuss the problems of current importance. The editors are not responsible for any information contained in advertisement.

11. Having reviewed the submitted materials, the editors notify the authors of their decision by email. If the paper has been rejected, the editors send reasoned refusal to the author.

12. Any full or partial reprinting of the materials is allowed only by the written permission of the editors.

Dear authors,
we kindly ask you to adhere strictly
to format guidelines when formatting your paper.

Appendix 1

The paper format guidelines

The papers are submitted by email (info@nanobuild.ru) and formatted in the following way.

1. The body of the paper

- The number of pages in the paper – more than 3 but less than 10 pages in A4 format.
- Margins: left and right – 2 cm, bottom and upper – 2,5 cm.
- The body of the paper is performed in Word.
- The font of the body – Times New Roman.
- The font size of the text is 14 pt, the factor of line-to-line spacing – 1,15.
- To keep the style uniform, don't use font effects (italics, underlined etc).
- Indention – 1 cm.
- Complex formulas are performed by the means of MS Equation 3.0. contained in WinWord.
- Formulas are placed in the center of the column (page) without indention, their numbers are given in round brackets and are placed in the column (page) with right justification. If there is only one formula in the paper, it is not numbered. Above and at the bottom of the text formulas are not separated by additional space.
- To make the reference to the formula in the text use round brackets (1), to make reference to the bibliographical source use square brackets [1].
- The size of the references is 12 pt.

2. Graphical design of the paper

- Illustrations are stored in vector format eps or in any other design applications of MS Office 97, 98 or 2000.
- After the first mentioning of the diagrams, pictures and photos in the text, they are inserted in the form which is suitable for the authors.
- The legends (12 pt, normal) are placed under the figures in the center after reduced word Fig. and number (12 pt, bold) of the figure. If there is only one figure, it is not numbered.
- Between the legend and the following text – one line-to-line spacing.
- All pictures and photos must be contrast and the resolution of the pictures and photos must be no less than 300 dpi. Illustrations are desirable to be coloured.
- The lines of the diagrams must not be thin (the line width – no less than 0,2 mm).
- Copies and figures scanned from the books and journals of a low quality and resolution are not accepted.
- The word Table and the number of the table are placed with right justification. The heading of table is on the next line (center adjustment without indention). Between table and the text – one line-to-line spacing. If there is only one table, it is not numbered.

3. The format of the modules

- Modules must be contrast and the resolution of the modules must be no less than 300 dpi (format .jpg).
- The size of the modules, mm:
1/1 – 210 (width) x 297 (height);
1/2 – 170 (width) x 115 (height).

Appendix 2

The Topics of Published Materials

- Nanostructured systems strength and penetrability formation theory development.
- Mathematical quantum and other types of models for nanomaterials characteristic research.
- The problems of nanomaterials and nanotechnologies implementation in construction and building materials.
- Technological principles of nanostructures creation (liquid melts, sol and gel synthesis).
- Creation of new functional materials in construction.
- Development of transition principles «disorder-order» when creating composites with the use of synergetic and other approaches.
- Study of different technological principles when creating nanosystems in industrial production.
- Diagnostics of building systems nanostructures and nanomaterials.
- The problems of obtaining of high-density and high-durability building materials (concretes, ceramics etc.).
- Technologies of mineral particles grinding to nanodimensional levels.
- Technology of blending mixtures with nanodispersed particles and methods to activate them.
- Hydrodynamic methods and other methods of aqueous suspensions and solutions activation.
- Modification of aqueous solution of different nanodimensional additives used in construction.
- Research in the area of powder nanomaterials toxicity.
- Metal reinforcement modified by nanodimensional materials in production process.
- Carbonic, basalt and aramid fibers and other types of fibers of small diameters with nanodimensional structural characteristics.
- Cement and other binders with mineral and organic additives.
- Concretes and solutions modified by nanodimensional additives.
- Mineral particles suspensions used for laques, paints as well as for modifiers for concretes and solutions; properties, fabrication method and durability.
- Organic materials dispersions used in laques and paints production as well as to manufacture additives for concretes and solutions; activation methods and durability of these dispersions.
- Use of nanopowder of different nature to modify building materials properties.
- New characteristics of building materials based on nanosystems.
- Modification of building materials with nanofibers.
- Disperse composite materials with nanocoating.
- Formation of nanostructure coatings by means of laser sputtering.
- Development of the methods aimed at studying materials nanostructure on the basis of disperse systems, including studying of vacuum nanoobjects in porous systems.
- Technologies aimed at studying nanomaterial properties.
- The systems of teaching the fundamentals of nanotechnologies.

The topics can be different, directly or indirectly related to the areas mentioned above.

Appendix 3

The structure of the paper

SECTION (In English) / **SECTION** (In Russian)

DOI
UDC

Title (In English)

Author(s):

Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country), position (In English), email of each author

Abstract: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, contain main results of research, structured, compact – 200–250 words) (In English)

Keywords: (In English)

Acknowledgements: (if available) (In English)

For citation: (In English)

Machine-readable information on CC-licenses (HTML-code) in metadata of the paper

The paper has been received by editors:

The paper has been received by editors

after peer-review:

The paper has been accepted for publication:

Title (In Russian)

Author(s): Place of employment for each author (university (institute), enterprise or other companies, city, country), position, (In Russian), email of each author

Abstract: the source of information, which is independent on the paper and which allows Russian and foreign specialists to make conclusion about the quality of the content of the paper (extended abstracts must be informative, original, contain main results of research, structured, compact – 200–250 words) (In Russian)

Keywords: (In Russian)

Acknowledgements: (if available) (In Russian)

For citation: (In Russian)

Text of the paper: (In English)

- INTRODUCTION
- MAIN PART
- CONCLUSION

Text of the paper: (In Russian)

- INTRODUCTION
- MAIN PART
- CONCLUSION

References: (In English)

References: (In Russian)

Information about the author(s): (In English)

Information about the author(s): (In Russian)

Contacts:

Appendix 4

Reference Formats (according to guidelines of VINITI RAN)

References are given after the text of the paper. The references in the list must be numbered.

Description of a Paper from Electronic Journal:

Falikman V.R., Vainer A.Y. Photocatalytic Cementitious Composites Containing Mesoporous Titanium Dioxide Nanoparticles. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 1, pp. 14–26. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN/ (Accessed _____.). (In Russian).

Note: Volume 1 – 2009; Volume 2 – 2010; Volume 3 – 2011; Volume 4 – 2012; Volume 5 – 2013; Volume 6 – 2014; Volume 7 – 2015; Volume 8 – 2016 etc.

Description of a Paper from Journal:

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. Technical and economic optimization of hydrofracturing design. Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry, 2008, no. 11, pp. 54–57. (In Russian).

Description of a Paper from Ongoing Edition (Proceedings):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii «stal'-kompozit» [Experimental study of the strength of joints «steel-composite»]. Trudy MGTU «Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem» [Proc. of the Bauman MSTU «Mathematical Modeling of Complex Technical Systems»], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Description of a Paper with DOI:

Korolev E.V., Smirnov V.A., Evstigneev A.V. Nanostructure of matrices for sulfur constructional composites: methodology, methods and research tools. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 6, pp. 106–148. DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-106-148.

Description of Conference Proceedings:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi» [Proc. 6th Int. Symp. «New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact»]. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

Description of Book (Monograph, Collection):

Lindorf L.S., Mamikonians L.G., eds. Eksploatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow, Energiia Publ., 1972, 352 p. (In Russian).

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. Izhevsk, 2002. 140 p.

Description of Translated Book:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. Kolebaniia v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Brooking A., Jones P., Cox F. Expert systems. Principles and case studies. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1987. 224 p.).

Description of Internet Source:

APA Style (2011). Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed 5 February 2013).

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov (Rules for the Citing of Sources)

Available at:

<http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed 7 February 2013).

Description of Thesis or Abstract of Thesis:

Semenov V.I. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor. Dokt. Diss. [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Doct. Diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

Description of State Standard (GOST):

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Description of Patent:

Ponomarev A.N., Seredokho V.A., Sofronov A.Yu. Construction structural element. RF Patent 2683836 C1. 2019. Bulletin № 10.

Description of Unpublished Document:

Pressure generator GD-2M. Technical description and user manual. Zagorsk, Res. Inst. of Appl. Chem. Publ., 1975. 15 p. (In Russian, unpublished).

О СОБЛЮДЕНИИ РЕДАКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗДАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ- ЖУРНАЛ» ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ЭТИКИ И ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОТСУТСТВИИ ЗЛУОПОТРЕБЛЕНИЯ СЛУЖЕБНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ЛИЦЕНЗИЕЙ CREATIVE COMMONS CC-BY «ATTRIBUTION».

ДЕКЛАРАЦИЯ OPEN ACCESS ЖУРНАЛА

Общие положения

Основные этические нормы, которые соблюдает редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал»:

1. Редакционный совет, редакционная коллегия, коллектив редакции поддерживают политику, направленную на соблюдение принципов издательской этики, и признают, что отслеживание соблюдения принципов издательской (редакционной) этики является одной из главных составляющих рецензирования и издания.

2. Недопустимым является плагиат, в какой бы то ни было форме. Это касается как представления к публикации под своим именем прежде опубликованных или неопубликованных работ других авторов, так и присвоения чужих идей. В случае заимствования фрагментов чужих работ автор должен указать источник. Примеры библиографических ссылок приведены в разделе «Авторам».

3. Редакция публикует статьи авторов всех стран и национальностей, которые исследуют проблематику, определенную редакционной политикой.

4. Редакция не сотрудничает с авторами, которые когда-либо допустили случаи плагиата в статьях, представленных в электронное издание «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» или других изданиях, если таковое станет известным.

5. Редакция использует программные средства и обеспечение для выявления плагиата из работ, имеющих-ся в Интернете.

6. Редакция будет с признательностью принимать информацию от читателей относительно выявленных ими элементов плагиата и нарушения авторами моральных норм и публиковать ее на страницах журнала.

7. Редакция берет на себя обязательства не публиковать статьи, которые содержат призывы к терроризму, проявления ксенофобии, оскорбления других авторов или граждан.

8. В редакции в оценке качества содержания статьи участвуют, как минимум, 3 эксперта. Проводится внешнее слепое рецензирование статей, для рецензирования каждой статьи привлекаются 2 эксперта. Рецензирование статей осуществляется специалистом соответствующего профиля, имеющим ученую степень не ниже доктора наук. Редакция направляет рецензенту статью без указания сведений об авторе(ах) и форму для подготовки рецензии. Рецензирование статей выполняется на добровольной и безвозмездной основе. В случае положительного внешнего рецензирования статья направляется для оценки одному из членов редсовета или редколлегии. При положительном решении трех экспертов статья рекомендуется к публикации.

9. Среди требований, предъявляемых к рецензентам, есть определение наличия элементов плагиата. Обязанности рецензентов приведены в разделе «Рецензентам».

10. Структура научных статей приведена в **Приложении 3**.

11. Журнал позволяет сохранять авторам авторские права без ограничений, а также сохранять авторам права на публикации без ограничений.

12. Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»). Эта лицензия позволяет другим распространять,

редактировать, поправлять и брать за основу произведение авторов, даже коммерчески, до тех пор, пока они указывают ваше авторство. Лицензия рекомендована для максимального распространения и использования лицензированных материалов. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.ru/>.

13. Декларация Open Access журнала. Редакция издания придерживается политики «открытого доступа» к публикуемым материалам. Под «открытым доступом» в соответствии с Будапештской инициативой «Открытый доступ» (БИОД) редакция подразумевает свободный доступ к публикуемым в журнале материалам через публичный Интернет и право каждого пользователя читать, загружать, копировать, распространять, распечатывать, искать или делать ссылки на полнотекстовые статьи, проводить поиск роботами-индексаторами, вводить их как данные в программное обеспечение или использовать для других законных целей при отсутствии финансовых, правовых и технических преград, за исключением тех, которые регулируют доступ к собственно Интернету. Единственным ограничением на воспроизводство и распространение и единственным условием копирайта в этой области должно быть право автора контролировать целостность своей работы и обязательные ссылки на его имя при использовании работы и ее цитировании.

Статьи из журнала (метаданные статей) размещаются в «открытом доступе»:

- на сайте электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал», ссылка – http://nanobuild.ru/ru_RU/, далее – раздел «Архив номеров»;
- в полнотекстовой базе данных научных журналов открытого доступа OpenAcademicJournalsIndex (OAJI), ссылка – <http://oaji.net/journal-detail.html?number=6931>;
- на сайте Научной электронной библиотеки, ссылка – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1568760>;
- в базе научных журналов Directory of Open Access Journals (DOAJ), ссылка – <https://doaj.org/>, далее – осуществляется поиск журнала «Nanotehnologii v Stroitel'stve»;
- в базе данных научных журналов ResearchBib, ссылка – <http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2075-8545>;
- на интернет-ресурсе учёных всех научных дисциплин ResearchGate, ссылка – https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction;
- в научной международной базе Readera – <https://readera.ru/nanobuild>;
- в других системах цитирования (базах данных).

Это позволяет ученым и специалистам во всем мире свободно знакомиться с материалами журнала и использовать их в своей деятельности, в т.ч. цитировать в своих статьях.

В каждой научной статье у авторов обязательно указываются: место работы (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должность, ученая степень, ученое звание, полный почтовый адрес и электронный адрес, что обеспечивает возможность непосредственно общаться ученым и специалистам из разных стран с авторами.

Каждой статье присваивается UDC, DOI, в метаданных статьях размещается машиночитаемая информация о CC-лицензии (HTML-код), другие идентификаторы материалов.

14. Более подробная информация о соблюдении издательской этики, порядке рецензирования материалов, принципах лицензирования, декларации Open Access журнала, соблюдении авторского и смежных прав, которыми нужно руководствоваться, содержится в международных стандартах, законах Российской Федерации, профессиональных кодексах, руководствах. Среди них – Международные стандарты Комитета по этике публикаций (Committee on Publication Ethics – COPE), Лицензии Creative Commons, Будапештская инициатива «Открытый доступ», Руководство для рецензентов издательства Elsevier, Гражданский кодекс РФ ч. IV, Закон РФ «О средствах массовой информации», Закон РФ «О рекламе», Кодекс профессиональной этики журналиста, Кодекс этики научных публикаций и др.

Главному редактору

Решение по опубликованию статьи. Главный редактор электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», отвечает за принятие решения о том, какие из представленных в редакцию журнала работ следует опубликовать. Это решение всегда должно приниматься на основе проверки достоверности работы и ее важности для исследователей и читателей. Главный редактор может руководствоваться методическими рекомендациями, разработанными редсоветом и редколлекцией журнала, и такими юридическими требованиями как недопущение клеветы, нарушения авторского права и плагиата. Также при принятии решения по публикации главный редактор может советоваться с членами редсовета, редколлекции или рецензентами.

Справедливость. Главный редактор оценивает представленные работы по их интеллектуальному содержанию, невзирая на расу, пол, сексуальную ориентацию, религию, этническое происхождение, гражданство или политические взгляды автора.

Конфиденциальность. Главный редактор, сотрудники редакции, члены редсовета и редсовета не должны раскрывать информацию о представленной рукописи кому-либо другому, за исключением автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, консультантов редакционного совета, а также издателя.

Разглашение сведений и конфликт интересов. Сведения, содержащиеся в представленной статье, не должны использоваться в какой-либо собственной работе главного редактора и членов редсовета и редколлегии без письменного разрешения автора. Конфиденциальная информация или идеи, полученные при рецензировании, должны храниться в секрете и не использоваться для получения личной выгоды.

Главному редактору следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.

Главному редактору следует требовать от всех авторов журнала предоставлять сведения о соответствующих конкурирующих интересах и публиковать исправления, если конфликт интересов был разоблачен после публикации. В случае необходимости, может выполняться другое подходящее случаю действие, такое как публикация опровержения или выражения озабоченности.

Изучение жалоб этического характера. Главному редактору следует принимать разумно быстрые меры при поступлении жалоб этического характера в отношении представленной рукописи или опубликованной статьи, имея контакт с редакцией, издателем.

Рецензентам

Рецензирование помогает главному редактору при принятии решения об опубликовании работы статьи (обзора), а благодаря замечаниям и предложениям рецензентов может также помочь автору улучшить его работу. Редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» привлекает рецензентов из числа внешних экспертов. Рецензирование должно обеспечить оценку научной значимости и оригинальности представленной рукописи. Авторы рукописей, представленных к опубликованию, признают целесообразность и необходимость рецензирования. Соглашаясь на рецензирование, будущий рецензент берет на себя следующие обязательства.

Оперативность. Лица, к которым обратились члены редакции через главного редактора относительно рецензирования рукописей научных работ, имеют моральные обязательства относительно ее оперативной оценки. При невозможности представления рецензии в установленный срок, об этом информируют главного редактора и назначают нового рецензента.

Конфиденциальность. Каждая полученная для рецензирования рукопись должна рассматриваться как конфиденциальный документ. Ее не просматривают и не обсуждают с другими лицами, кроме лиц, уполномоченных главным редактором.

Объективность. Рецензии должны выполняться объективно. Недопустимы личностные нападки на автора. Рецензенту следует выражать свою точку зрения ясно и обоснованно.

Оценка ссылок. Факт отсутствия ссылок в рукописи, представленной для опубликования, должен быть отмечен и оценен рецензентом. В случае сходства или частичного совпадения рукописи с известными рецензенту публикациями, на которые отсутствуют ссылки, это должно быть также указано рецензентом. Примеры библиографических ссылок приведены в разделе «Авторам».

Выявление плагиата. Рецензент, в случаях подозрения по поводу дублирования статьи или плагиата, должен указать об этом в рецензии.

Этические нормы. Конфиденциальная информация и идеи рецензированной статьи не должны разглашаться. Материалы рецензированной статьи не должны использоваться для получения личной выгоды рецензента. Рецензент соблюдает норму, согласно которой он не использует в собственной работе и публикациях идеи и положения рецензированной им статьи без письменного согласия ее автора.

Рецензенту следует отказаться от своего участия в рецензировании в случае, если присутствует конфликт интересов, проистекающий из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, компаний или учреждений, имеющих отношение к статье.

Редакция может, по запросу, направлять рецензии в ВАК РФ, а также в международные системы цитирования (базы данных) для оценки качества публикуемых статей и процесса рецензирования в целом.

В частности, редакция подтверждает свое согласие на передачу и размещение на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU вместе с Лицензионным материалам журнала следующих материалов:

- тексты рецензий для пользователей библиотеки;
- фамилии и данные о рецензентах для пользователей библиотеки.

Авторам

1. Авторы представляют в редакцию:

- рукописи в электронном виде (по электронной почте info@nanobuild.ru) в соответствии с правилами оформления текстовых и графических материалов, приведенными в **Приложении 1**. Тематика публикуемых материалов должна соответствовать заявленной редакцией электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» в **Приложении 2**. Представляемые статьи должны соответствовать структуре, приведенной в **Приложении 3**.
- сопроводительное письмо (редакция высылает авторам образец по их предварительному запросу).

Авторы публикуемых в журнале материалов допускают использование контента в соответствии с лицензией Creative Commons CC-BY «Attribution» («Атрибуция»); согласны с присвоением каждой статье UDC, DOI, с размещением машиночитаемой информации о CC-лицензии (HTML-код) в метаданных статьях, других идентификаторов материалов; согласны с размещением в открытом доступе полных текстов статей (их составных частей или метаданных) в Интернете на сайте издания (www.nanobuild.ru), Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, в системах цитирования (базах данных): ISSN, Российский индекс научного цитирования, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, CA(pt), Compendex, Scopus, Web of Science, EBSCO Publishing, ResearchBib, CrossRef и др. Об этом авторы указывают в сопроводительном письме. Подробно о лицензии Creative Commons CC-BY смотрите здесь <http://creativecommons.ru/>.

2. В статье должны содержаться результаты оригинальных исследований и проследившись связь с предыдущими исследованиями, выполненными лично автором и другими учеными. Последнее должно быть представлено как в основном тексте, так и в форме ссылок на предыдущие источники. В случае использования материалов из работ других авторов статья должна содержать соответствующие ссылки. Библиографический список приводится после текста статьи. Примеры оформления библиографических ссылок даны в **Приложении 4**.

При написании статьи следует соблюдать принципы профессиональной этики, проявлять компетентность, объективность и ответственность.

3. Редакция, редакционный совет или редакционная коллегия могут попросить авторов предоставить все первоисточники и материалы, имеющие отношение к написанию публикуемой статьи. Материалы должны храниться в течение 1 года после публикации.

4. Каждая статья, публикуемая в журнале, рецензируется экспертами на предмет оригинальности и соответствия правилам оформления. Использование трудов или мыслей других ученых должно быть оформлено надлежащим образом. Недопустим плагиат в любой форме. Авторы должны подтвердить, что публикуют свою статью впервые или просят осуществить ее повторную публикацию.

5. Информация, полученная неофициально, например, в частном обсуждении или переписке, не может быть представлена в статье без письменного разрешения со стороны источника информации. Информация, источником которой является конфиденциальная деятельность, в частности рецензирование рукописей или заявок на получение грантов, не может быть использована в статье без письменного согласия авторов.

6. Переиздание статьи по инициативе редакционного совета (редакционной коллегии) журнала осуществляется с согласия авторов, редакции и обладателя права интеллектуальной собственности на статью. В случае повторной публикации статьи издатель делает соответствующее сообщение об этом.

Представление статьи в соавторстве возможно, если все лица, указанные как соавторы, сделали значительный вклад в разработку концепции, планирование, выполнение или интерпретацию описываемого исследования. В случае если вклад лица, определенным образом содействовавшего освещению в статье исследованию, не настолько существенен, чтобы включить его в соавторы, ему должна быть высказана признательность. Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается.

7. Автор-корреспондент должен обеспечить прочтение и одобрение всеми соавторами окончательной версии статьи, а также их согласие на публикацию.

8. При наличии конфликта интересов, в том числе и потенциального, автор или соавторы должны информировать издателя как можно раньше. При выявлении принципиальных ошибок или неточностей в своей уже опубликованной работе автор обязан срочно сообщить об этом шеф-редактору и оказать максимальное со-

действие главному редактору журнала для публикации опровержения либо исправлений. В случае получения главным редактором информации от третьих лиц о содержащейся в опубликованной работе существенной ошибке автор обязан представить срочное опровержение с предоставлением главному редактору (шеф-редактору) доказательств своей правоты или необходимые исправления.

9. Авторы должны осознавать, что редакция, редакционный совет и редакционная коллегия электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал» берут на себя обязательства помогать научному сообществу в соблюдении всех аспектов издательской этики, особенно в случаях подозрения по поводу дублирования статьи или плагиата.

10. Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений и использование данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция оставляет за собой право внесения редакторской правки. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов: материалы публикуются с целью обсуждения актуальных вопросов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

11. После рассмотрения материалов редакция уведомляет авторов о своем решении электронным письмом. В случае если статья не подлежит публикации, редакция направляет автору мотивированный отказ.

12. Любая перепечатка материалов полностью или частично возможна только с письменного разрешения редакции.

Уважаемые авторы!
Просьба в целях экономии времени следовать
правилам оформления статей в журнале.

Приложение 1

Правила оформления материалов

Статьи представляются по электронной почте
(e-mail: info@nanobuild.ru) и оформляются следующим образом.

1. Текст статьи.

- Объем статьи – не менее 3 и не более 10 страниц формата A4.
- Поля: слева и справа – по 2 см, снизу и сверху – по 2,5 см.
- Основной текст статьи набирается в редакторе Word.
- Шрифт основного текста – Times New Roman.
- Текст набирается 14 кг, междустрочный интервал – множитель 1,15.
- Для однородности стиля не используйте шрифтовые выделения (курсив, подчеркивания и др.).
- Отступ первой строки абзаца – 1 см.
- Сложные формулы выполняются при помощи встроенного в WinWord редактора формул MS Equation 3.0.
- Формулы располагаются по центру колонки без отступа, их порядковый номер указывается в круглых скобках и размещается в колонке (странице) с выключкой вправо. Единственная в статье формула не нумеруется. Сверху и снизу формулы не отделяются от текста дополнительным интервалом.
- Для ссылок на формулы в тексте используются круглые скобки – (1), на литературные источники – квадратные скобки [1].
- Библиографический список приводится 12 кг.

2. Графическое оформление статьи.

- Иллюстрации выполняются в векторном формате eps либо в любом из графических приложений MS Office 97, 98 или 2000.
- Графики, рисунки и фотографии вставляются в текст после первого упоминания о них в удобном для автора виде.
- Подписи (12 кг, обычный) даются под иллюстрациями по центру после сокращенного слова Рис. с порядковым номером (12 кг, полужирный). Единственный рисунок в тексте не нумеруется.
- Между подписью к рисунку и последующим текстом – один междустрочный интервал.
- Все рисунки и фотографии должны быть контрастными и иметь разрешение не менее 300 dpi. Иллюстративный материал желательно представлять в цветном изображении.
- Графики нельзя выполнять тонкими линиями (толщина линий – не менее 0,2 мм).
- Ксерокопированные, а также плохо отсканированные рисунки из книг и журналов не принимаются.
- Слово Таблица с порядковым номером располагается с выключкой вправо. На следующей строке приводится заголовок к таблице (выравнивание по центру без отступа). Между таблицей и текстом – один междустрочный интервал. Единственная таблица в статье не нумеруется.

3. Оформление модулей.

- Модули должны быть контрастными и иметь разрешение не менее 300 dpi (в формате .jpg).
- Размеры модулей, мм:
1/1 – 210 (ширина) x 297 (высота);
1/2 – 170 (ширина) x 115 (высота).

Приложение 2

Тематика публикуемых материалов

- Разработка теории формирования прочности и непроницаемости наноструктурированных систем.
- Математические квантовые и другие виды моделей для исследования свойств наноматериалов.
- Проблемы применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и строительных материалах.
- Технологические принципы создания наноструктур (расплавы, золь-гелевый синтез и др.).
- Создание новых функциональных материалов в строительстве.
- Разработка принципов перехода «беспорядок-порядок» при создании композитов с использованием синергетики.
- Изучение различных технологических принципов при создании наносистем в промышленном производстве.
- Диагностика наноструктур и наноматериалов строительных систем.
- Проблемы получения высокоплотных и высокопрочных строительных материалов (бетоны, керамика и др.).
- Технологии измельчения минеральных частиц до наноразмерных уровней.
- Технология перемешивания смесей с нанодисперсными частицами и методы их активации.
- Гидродинамические и другие методы активации водных суспензий и растворов.
- Модификация водных растворов различных наноразмерных добавок, используемых в строительстве.
- Исследование в области токсичности порошковых наноматериалов.
- Металлическая арматура, модифицированная в процессе изготовления наноразмерными материалами.
- Волокна углеродные, базальтовые, арамидные и другие волокна малых диаметров с наноразмерными структурными характеристиками.
- Цементные и другие вяжущие с минеральными и органическими добавками.
- Бетоны и растворы, модифицированные наноразмерными добавками.
- Суспензии минеральных и органических добавок, используемые для лаков, красок, а также модификаторов к бетонам и растворам; свойства, технология их приготовления и живучесть.
- Применение нанопорошков различной природы для модификации свойств строительных материалов.
- Новые свойства строительных материалов на основе наносистем.
- Модифицирование строительных материалов нановолокнами.
- Дисперсные композиционные материалы с нанопокрывом.
- Формирование наноструктурных покрытий лазерным напылением.
- Разработка методов исследования наноструктуры материалов на основе дисперсных систем, в том числе исследования нанообъектов пустоты в пористых системах.
- Технологии исследования свойств наноматериалов.
- Системы преподавания основ нанотехнологий.

Тематика статей может быть иной, прямо или косвенно связанной с перечисленными направлениями.

Приложение 3

Структура статьи

РУБРИКА (на английском языке) /
РУБРИКА (на русском языке)

DOI
УДК

Заглавие (на английском языке)

Автор(ы): обязательное указание места работы каждого автора (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должности (на английском языке), электронный адрес

Резюме: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать основные результаты исследований, структурированными, компактными – укладываться в 200–250 слов) (на английском языке)

Ключевые слова: (на английском языке)

Благодарности: (при наличии) (на английском языке)

Для цитирования: (на английском языке)

Машиночитаемая информация о СС-лицензиях (HTML-код) в метаданных статьи

Статья поступила в редакцию:
Статья поступила в редакцию
после рецензирования:
Статья принята к публикации:

Заглавие (на русском языке)

Автор(ы): обязательное указание места работы каждого автора (университет (институт), предприятие и другие организации, город, страна), должности (на русском языке), электронный адрес

Резюме: независимый от статьи источник информации, который позволяет российским и зарубежным специалистам сделать вывод о качестве и содержании статьи (резюме должны быть информационными, оригинальными, содержать основные результаты исследований, структурированными, компактными – укладываться в 200–250 слов) (на русском языке)

Ключевые слова: (на русском языке)

Благодарности: (при наличии) (на русском языке)

Для цитирования: (на русском языке)

Текст статьи (на английском языке)

- ВВОДНАЯ ЧАСТЬ (ВВЕДЕНИЕ)
- ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Текст статьи (на русском языке)

- ВВОДНАЯ ЧАСТЬ (ВВЕДЕНИЕ)
- ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Список литературы: (на английском языке)

Список литературы: (на русском языке)

Информация об авторе(ах): (на английском языке)

Информация об авторе(ах): (на русском языке)

Контакты:

Приложение 4

Оформление библиографических ссылок (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и ГОСТ Р 7.0.7–2009)

Библиографический список приводится после текста статьи. Все ссылки в списке последовательно нумеруются.

Описание статьи из электронного журнала:

Фаликман В.Р., Вайнер А.Я. Фотокаталитические цементные композиты, содержащие мезопористые наночастицы диоксида титана // Нанотехнологии в строительстве. 2014. – Том 6, № 1. – С. 14–26. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: _____.).

Справочно: Том 1 – 2009 год; Том 2 – 2010 год; Том 3 – 2011 год; Том 4 – 2012 год; Том 5 – 2013 год; Том 6 – 2014 год; Том 7 – 2015 год; Том 8 – 2016 год и т.д.

Описание статьи из журналов:

Загуренко А.Г., Коротовских В.А., Колесников А.А., Тимонов А.В., Кардымон Д.В. Техничко-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 11. – С. 54–57.

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Астахов М.В., Таганцев Т.В. Экспериментальное исследование прочности соединения «сталь-композит» // Труды МГТУ «Математическое моделирование сложных технических систем». – 2006. – № 593. – С. 125–130.

Описание статьи с DOI:

Королев Е.В., Смирнов В.А., Евстигнеев А.В. Наноструктура матриц серных строительных композитов: методология, методы, инструментарий // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – Том 6, № 6. – С. 106–148. DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-106-148

Описание материалов конференций:

Усманов Т.С., Гусманов А.А., Муллагин И.З., Мухаметшина Р.Ю., Червякова А.Н., Свешников А.В. Особенности разработки месторождения с помощью гидравлического разрыва пласта // Труды 6 Международного симпозиума «Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи». – Москва, 2007. – С. 267–272.

Описание книги (монографии, сборники):

Линдорф Л.С., Мамикониантс Л.Г. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. – Москва: Изд. Энергия, 1972. – 352 с.

Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Ижевск, 2002.

Описание переводной книги:

Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уэвер У. Колебания в инженерном деле. – 4-е изд. – Нью-Йорк: Уайли, 1974. – 521 с. (Рус. изд.: Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уэвер У. Колебания в инженерном деле. – Москва: Изд. Машиностроение, 1985. – 472 с.).

Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – Чапман и Холл, 1984. – 231 с. (Рус. изд.: Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – Москва: Изд. Радио и связь, 1987. – 224 с.).

Описание Интернет-ресурса:

Стиль APA (2011) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (дата обращения: 5.02.13).

Правила цитирования источников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (дата обращения: 7.02.13)

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Семенов В.И. Математическое моделирование плазмы в системе «Компактный тор»: дис. ... д-ра физико-математич. наук. – Москва, 2003. – 272 с.

Описание ГОСТа:

ГОСТ 8.586.5–2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Методика выполнения измерений. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2007. – 10 с.

Описание патента:

Пономарев А.Н., Середохо В.А., Софронов А.Ю. Строительный конструкционный элемент // Патент 2683836 РФ МПК С1. 2019. Бюл. № 10.

Описание неопубликованного документа:

Генератор давления GD-2М. Описание технических характеристик и руководство пользователя. – Загорск: Издательство НИИ Прикладной Химии, 1975. – 15 с. (не опубликовано).